

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroenergetiky

**Návrh a nastavení elektrických ochran pro
rozvodnu 110/22 kV Fifejdy**

**Design and adjustment of electrical protection
for substation 110/22 kV Fifejdy**

Zadání diplomové práce

Student:

Bc. Martin Pulkrábek

Studijní program:

N2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

3907T001 Elektroenergetika

Téma:

Návrh a nastavení elektrických ochran pro rozvodnu
R110/22 kV Fifejdy
Design and adjustment of electrical protection for substation
R110/22 kV Fifejdy

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Teoretický rozbor ochran a jištění
2. Teoretický rozbor výpočtu zkratových proudů
3. Popis rozvodny 110/22 kV Fifejdy
4. Popis ochran navržených pro chránění rozvodny
5. Návrh nastavení elektrických ochran pro rozvodnu (vývody 22 kV)
6. Zhodnocení navrženého řešení elektrických ochran

Seznam doporučené odborné literatury:


1. Janíček, F., Chladný, V. a kol.: Digitálne ochrany v elektrizačnej sústave. STU Bratislava, 2004.
2. Hradílek, Z.: Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí. Montanex a.s., Ostrava, 2008.
3. Dohnálek, P.: Ochrany pro průmysl a energetiku. SNTL, Praha 1991.
4. Haluzík, E.: Ochrany a automatiky v elektrických sítích. Skriptum VUT Brno, 1985.
5. ČSN EN 60909-0. Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách. Květen 2002.
6. ČSN 33 3051. Ochrany elektrických strojů a rozvodných zařízení. Listopad 1992.
7. Firemní literatura a katalogy, technická dokumentace rozvodny R110/22 kV Fifejdy.

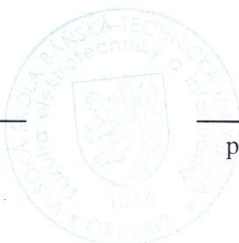
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **doc. Dr. Ing. Zdeněk Medvec**

Datum zadání: 01.09.2016

Datum odevzdání: 28.04.2017


prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlášení studenta:

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne 25.4.2017

Pulkrábek

Poděkování:

Rád bych poděkoval mému vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Zdeňku Medvecovi za možnost zpracování daného tématu od firmy ČEZ Distribuce, a.s. Rovněž bych chtěl poděkovat konzultantovi Ing. Milanu Blokšovi za poskytnutí podkladů, vstřícný přístup, odborné rady, připomínky a trpělivost při vypracování této diplomové práce. Poděkování patří i mé rodině za podporu během celého studia.

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je popis a nastavení elektrických ochran v rozvodně Fifejdy 22 kV. Tato práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V úvodní části jsou vysvětleny základní pojmy ochran, následně jsou zde uvedeny nejčastější poruchy, které mají negativní vliv na celou elektrizační soustavu. Poruchy tvoří klíčovou část této práce, protože podle nich se aplikují typy ochran. Na konci této kapitoly jsou popsány základní typy ochran. V další kapitole je uvedena metodika výpočtů zkratových poměrů podle ČSN EN 60909, která je nutná pro nastavení ochran v praktické části. Třetí kapitola se věnuje zhodnocením stávajícího stavu na rozvodně Fifejdy a stavby nové rozvodny 110/22 kV. Čtvrtá kapitola popisuje nové ochrany, které budou nasazeny na rozvodně a nahradí tím staré ochrany, které sloužily desítky let a byly na dnešní dobu považovány jako nevyhovující z mnoha kritérií. Pátá kapitola se zabývá výpočty zkratových poměrů na jednotlivých vývodech z rozvodny 22 kV. Závěrečná část obsahuje samotný návrh a nastavení ochran vedení.

Abstract

The aim of this thesis is a description and a setting of electrical protection in Fifejdy 22 kV substation. This piece of work is divided into a theoretical and a practical part. In the introduction, definition of the term “protection” is explained and later this part states the most common “failures” that have a negative impact on the whole electrical system. “Failures” and “defaults” constitute a crucial section of this thesis because according to them the respective “protection” is applied. At the end of this chapter, there are descriptions of the basic types of “protection”. The next chapter introduces methodology of short-circuit conditions calculations according to ČSN EN 60909 which is necessary for settings of the “protection” in the later practical part. The third chapter is devoted to an evaluation of existing conditions in Fifejdy substation and of a construction of a new substation 110/22 kV. The fourth chapter introduces new techniques of the “protection” that will be employed in the substation and will replace the outdated models which served few previous decades and they are now considered unsuitable due to various criteria. The fifth chapter deals with calculations of short-circuit conditions on individual outlets of the substation 22 kV. The final section consists of a proposal itself and the setting of the “protections”.

Klíčová slova

Elektrická rozvodna, elektrická ochrana, nastavení nadproudových ochran, zemní ochrana, multifunkční ochrany Siemens, zkrat, výpočet zkratových proudů, ochrany v rozvodu VN, transformátor, přípojnice, vedení, selektivita, nadproudový stupeň, zkratový stupeň, vypínací čas.

Key words

Electrical substation, electrical protection, setting of overcurrent protection, ground fault protection, multifunctional protections Siemens, short-circuit, short-circuit current calculation, protections in distribution of MV, transformer, busbar, transmission line, selectivity, overcurrent stage, short-circuit stage, tripping time.

Seznam použitých symbolů a zkratk:

A	(A)	Počáteční hodnota stejnosměrné složky $i_{d.c.}$
A/D		Analogově digitální
AOZ		Automatika opětného zapínání
ASR 5.0		Zhášecí tlumivka
\underline{a}	(-)	Komplexní konstanta
c	(-)	Napěťový součinitel
$c \cdot U_n / \sqrt{3}$	(V)	Napětí ekvivalentního zdroje (efektivní hodnota)
DTS		Distribuční trafostanice
ES		Elektrizační soustava
FV		Omezovač přepětí
f	(Hz)	Kmitočet
HDO		Hromadné dálkové ovládání
I_b	(A)	Souměrný zkratový vypínací proud (efektivní hodnota)
I_k	(A)	Ustálený zkratový proud (efektivní hodnota)
I_k''	(A)	Počáteční souměrný rázový zkratový proud (efektivní hodnota)
I_{k3max}''	(kA)	Maximální třífázový souměrný rázový zkratový proud
I_{k3}''	(kA)	Počáteční souměrný rázový třífázový zkratový proud
I_{k2min}''	(kA)	Minimální dvoufázový souměrný rázový zkratový proud
I_{k2}''	(kA)	Počáteční souměrný rázový dvoufázový zkratový proud
I_{k1}''	(kA)	Počáteční souměrný rázový jednofázový zkratový proud
I_{kmin}	(kA)	Nejmenší zkratový proud na konci chráněného úseku
I_{ks3}	(kA)	Třífázový souměrný rázový zkratový proud rozvodny
I_{ks1}	(kA)	Jednofázový souměrný rázový zkratový proud rozvodny
I_{LR}	(A)	Souměrný záběrový proud asynchronního motoru
I_r	(A)	Jmenovitý proud elektrického zařízení
I_{th}	(A)	Ekvivalentní oteplovací zkratový proud
$i_{d.c.}$	(A)	Stejnosemřná složka zkratového proudu
i_p	(A)	Nárazový zkratový proud
K	(-)	Korekční součinitel pro impedance
LOR		Logická ochrana rozvodny
M		Motorový pohon
m	(-)	Činitel pro tepelné účinky stejnosměrné složky

n	(-)	Činitel pro tepelné účinky střídavé složky
p_p	(-)	Převodový poměr
PSP		Podélná spojka přípojníc
PTN		Přístrojový transformátor napětí
PTP		Přístrojový transformátor proudu
P_{krT}	(W)	Jmenovité ztráty nakrátko transformátoru
P_{rM}	(W)	Jmenovitý činný výkon asynchronního motoru
QM		Vypínač
Q1, QE6		Odpojovač
q_n	(mm ²)	Jmenovitý průřez
R_G	(Ω)	Rezistance synchronního stroje
R_{Gf}	(Ω)	Fiktivní rezistance
R_k	(Ω)	Činný odpor vedení na 1 km délky
S_k''	(VA)	Počáteční souměrný rázový zkratový výkon
S_{ks3}	(MVA)	Třífázový souměrný rázový zkratový výkon rozvodny
S_{ks1}	(MVA)	Jednofázový souměrný rázový zkratový výkon rozvodny
S_{kmax}''	(MVA)	Maximální počáteční souměrný rázový zkratový výkon
S_{kmin}''	(MVA)	Minimální počáteční souměrný rázový zkratový výkon
S_r	(VA)	Jmenovitý zdánlivý výkon elektrického zařízení
t_{min}	(s)	Minimální doba vypnutí
t_r	(-)	Jmenovitý převod transformátoru
t_{vyp}	(s)	Vypínací čas ochrany
T_K	(s)	Doba trvání zkratového proudu
U_m	(V)	Nejvyšší napětí zařízení, sdružené (efektivní hodnota)
U_n	(V)	Jmenovité napětí soustavy, sdružené (efektivní hodnota)
U_r	(V)	Jmenovité napětí zařízení, sdružené (efektivní hodnota)
u_{kr}	(%)	Jmenovité napětí transformátoru nakrátko
u_{kR}	(%)	Napětí nakrátko reaktoru omezující zkrat
$Z_{(1)}Z_{(2)}, Z_{(0)}$	(Ω)	Impedance sousledné, zpětné, netočivé zkratového obvodu
$U_{(1)}U_{(2)}, U_{(0)}$	(V)	Napětí sousledné, zpětné, netočivé složkové soustavy
$L1, L2, L3$		Fázové vodiče
X_d''	(Ω)	Rázová reaktance synchronního stroje (nasycená hodnota), podélná
x_d''	(-)	Poměrná rázová reaktance synchronního stroje, podélná

X_k	(Ω)	Reaktance vedení na 1 km délky
$X_{S\ max\ (110)}$	(Ω)	Maximální reaktance soustavy na straně 110 kV
$X_{S\ min\ (110)}$	(Ω)	Minimální reaktance soustavy na straně 110 kV
$X_{S\ max\ (22)}$	(Ω)	Maximální reaktance sítě na straně 22 kV
$X_{S\ min\ (22)}$	(Ω)	Minimální reaktance sítě na straně 22 kV
Z_k	(Ω)	Zkratová impedance trojfázové střídavé soustavy
η	(-)	Účinnost asynchronních motorů
κ	(-)	Součinitel pro výpočet nárazového zkratového proudu
λ	(-)	Součinitel pro výpočet ustáleného zkratového proudu
μ	(-)	Součinitel pro výpočet souměrného zkratového vypínacího proudu
$\rho\ (\Omega \cdot mm^2 \cdot m^{-1})$		Rezistivita (měrný odpor)
φ	($^\circ$)	Fázový úhel

Horní indexy:

„	Počáteční rázová (zkratová) hodnota)
,	Rezistance či reaktance na jednotku délky

Dolní indexy:

$(1), (2), (0)$	Sousledná složka, zpětná složka, netočivá složka
<i>a.c.</i>	Střídavý proud
<i>d.c.</i>	Steady-state proud
<i>f</i>	Fiktivní
<i>k1</i>	Jednofázový zkrat
<i>k2</i>	Dvoufázový zkrat
<i>k2E příp. kE2E</i>	Dvoufázový zemní zkrat
<i>k3</i>	Trojfázový zkrat
<i>K</i>	Impedance nebo reaktance vypočítané s impedančním korekčním součinitelem
<i>max</i>	Maximum
<i>min</i>	Minimum
<i>n</i>	Jmenovitá hodnota
<i>r</i>	Jmenovitá hodnota zařízení
<i>V</i>	Vedení
<i>E</i>	Zem
<i>F</i>	Místo zkratu
<i>G</i>	Generátor

<i>L</i>	Vedení, vodič
<i>M</i>	Asynchronní motor nebo skupina asynchronních motorů
<i>N</i>	Střední vodič trojfázové střídavé soustavy, uzel vinutí (při zapojení do hvězdy) generátoru nebo transformátoru
<i>P</i>	Svorka, pól
<i>Q</i>	Bod připojení nadřazené soustavy
<i>R</i>	Reaktor omezující zkratové proudy
<i>T</i>	Transformátor

Obsah

1. Úvod	12
2. Teoretický rozbor ochran a jištění	14
2.1 Základní pojmy	14
2.1.1 Ochrana	14
2.1.2 Chráněný objekt	14
2.1.3 Matematický model chráněného objektu	14
2.1.4 Stavová veličina	16
2.1.5 Energetická soustava	16
2.2 Ochrana	16
2.3 Technická data ochrany	17
2.4 Základní členy ochrany	20
2.4.1 Vstupní člen	20
2.4.2 Popudový člen	20
2.4.3 Měřicí člen	21
2.4.4 Logika ochrany	26
2.4.5 Napájecí člen	26
2.4.6 Časový člen	27
2.4.7 Koncový člen	27
2.4.8 Filtry souměrných složek napětí a proudu	27
2.5 Funkce a požadavky na ochrany	28
2.5.1 Selektivita	28
2.5.2 Přesnost ochrany	28
2.5.3 Citlivost	29
2.5.4 Spolehlivost	29
2.5.5 Nařiditelnost	29
2.5.6 Rychlost působení	29
2.6 Zálohování ochran	29
2.7 Zásady kontroly funkce ochran	30
2.8 Poruchové stavy	30
2.9 Základní pojmy	31
2.10 Druhy poruch	32
2.11 Rozdělení ochran	34
2.12 Základní typy ochran	35

2.12.1	Nadproudové ochrany	35
2.12.2	Závislá nadproudová ochrana.....	35
2.12.3	Polozávislá nadproudová ochrana	37
2.12.4	Mžiková ochrana	37
2.12.5	Nezávislá nadproudová ochrana.....	37
2.12.6	Směrová nadproudová ochrana	40
2.12.7	Podpěťové odblokování nadproudových ochran.....	40
2.12.8	Distanční (impedanční) ochrana.....	41
2.12.9	Srovnávací ochrana	42
2.12.10	Rozdílová ochrana.....	43
2.12.11	Fázová srovnávací ochrana	44
2.12.12	Ochrany při zemním spojení	45
3.	Metodika výpočtu zkratových proudů dle ČSN EN 60909-0	49
3.1	Předpoklady výpočtu.....	49
3.2	Metoda výpočtu.....	49
3.2.1	Použití souměrných složek	49
3.2.2	Ekvivalentní napěťový zdroj v místě zkratu	51
3.3	Maximální zkratové proudy	51
3.4	Minimální zkratové proudy	52
3.5	Zkratové impedance elektrických zařízení elektrizační soustavy	53
3.5.1	Síťové napáječe	53
3.5.2	Transformátory	55
3.5.3	Venkovní vedení a kabely	58
3.5.4	Reaktory omezující zkratový proud	58
3.5.5	Synchronní stroje.....	59
3.5.6	Asynchronní motory.....	60
3.6	Výpočet zkratových proudů	62
3.6.1	Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k''	62
3.6.2	Nárazový zkratový proud i_p	64
3.6.3	Stejnoseměrná složka zkratového proudu	65
3.6.4	Souměrný vypínací zkratový proud I_b	65
3.6.5	Ustálený zkratový proud I_k	67
3.6.6	Jouleův integrál a ekvivalentní oteplovací zkratový proud	67
4.	Zhodnocení stávajícího stavu na rozvodně Fifejdy 110/22 kV	68
4.1	Fifejdy – stavba nové R 110/22 kV	68
4.1.1	Zdůvodnění stavby	68

4.1.2	Popis stavby	68
4.1.3	Transformátory 110/22 kV	68
4.1.4	Tlumivky, odporníky a odpojovače.....	69
4.1.5	Střídavá vlastní spotřeba	70
4.2	Rozvodna 110 kV Fifejdy	71
4.3	Rozvodna 22 kV Fifejdy	72
4.4	Ochrany vn	74
4.4.1	Ochrany a řídicí systém v R 110/22 kV Fifejdy.....	75
4.4.2	Řídicí systém.....	75
5.	Popis ochran navržených pro chránění rozvodny 22 kV Fifejdy.....	76
5.1	Multifunkční ochrana s řízením 7SJ63/64 SIPROTEC.....	76
5.1.1	Všeobecné vlastnosti	76
5.1.2	Vlastnosti jednotlivých typů ochrany SIPROTEC 7SJ63/64	77
5.1.3	Nadproudová ochrana SIPROTEC 7SJ804.....	79
6.	Výpočet zkratových poměrů pro nastavení ochran	80
6.1	Zadané parametry jednotlivých úseků vedení	87
6.2	Výsledné hodnoty zkratových poměrů na jednotlivých úsecích vedení	95
7.	Návrh nastavení elektrických ochran pro rozvodnu.....	104
7.1	Nadproudový stupeň	104
7.2	Zkratový stupeň.....	104
7.3	Nastavení nadproudových ochran pro SP1, PSP1, SP2 a PSP2:.....	114
7.4	Nastavení nadproudových ochran pro TVS1 a TVS2	114
7.5	Nastavení zemních směrových ochran.....	114
7.6	Nastavení automatiky opětného zapnutí	115
8.	Závěr.....	116

1. Úvod

Ochrana má neodmyslitelný význam a je nepostradatelnou součástí pro elektroenergetiku, tvoří základní pilíř, bez kterého nemůže průmysl správně fungovat. Všeobecně se jedná o zařízení, které musí zajistit provozní bezpečnost a spolehlivost např. u venkovního vedení, transformátorů (dvojvinutových, trojvinutových), synchronních generátorů, kabelů, motorů atd.

Její princip spočívá ve zpracování informací a následně vyhodnocení, jestliže se jedná o normální provozní stav nebo o poruchový stav. Poruchovým stavem rozumíme, že v elektrizační soustavě může nastat takový případ, který má za následek radikální nárůst několikanásobně většího proudu, vzhledem ke jmenovitým hodnotám, tento jev definujeme jako zkratový proud, tedy v podstatě se jedná o nadproud v důsledku zkratu. Příčin pro vznik zkratu je mnoho např. vlivem staré izolace, chybnou manipulací a v neposlední řadě povětrnostními vlivy. Další známé poruchové stavy v elektrizační soustavě se uvádí zemní spojení, přepětí, přetížení, nesouměrné zatížení, podpětí, zpětný tok výkonu, zvýšení kmitočtu a snížení kmitočtu. Na základě poruchy, ochrana zareaguje např. vypnutím, odbuzením nebo snížením zatížení a tím zajistí bezpečnost pro elektrické zařízení a informuje obsluhu o dané situaci.

Při návrhu ochrany je nutné znát technické normy, které se zabývají výpočty poruchových jevů, jedině tak lze docílit plné funkčnosti ochrany a předejít velkým finančním škodám na majetku nebo zabránit nebezpečí úrazu osob a zvířat. Na projektanta se tedy kladou velké nároky a musí splňovat několik kritérií při návrhu ochrany.

Nároky na spolehlivý provoz se neustále zvyšují a s modernější technologií budou stále vyšší, proto budou odběratelé s postupem času mít větší nároky na dodavatele elektrické energie, než tomu bylo doposud, tudíž je na místě, že i ochrany prodělaly v posledních letech mnoho inovací, proto je cílem zajistit dlouhodobý bezporuchový stav, nicméně je dobré mít na paměti, že nežádoucí přechodové jevy jsou nahodilého charakteru, i přes veškerou snahu dodržení všech kritérií při návrhu a dimenzování elektrického zařízení nebo vedení.

V posledních desítkách let mají velký rozmach číslicové ochrany, jinak známé jako digitální ochrany. Je to hlavně z důvodu přesného a rychlého zpracování informace prostřednictvím počítače, než tomu bylo dříve u použití analogových ochrany. V dnešní době digitální ochrany měří dobu působení v mikrosekundách, zatímco u analogových ochrany se udává měření v milisekundách, ovšem je mít dobré na paměti, že tyto dvě doby není možno porovnávat přímo, protože jejich kvalitní míra je různá. Z toho plyne skutečnost, která nám ve finále ovlivní parametry daného zařízení a to konkrétně přesnost, spolehlivost, selektivitu, citlivost a rychlost ochrany.

Diplomová práce popisuje elektrické ochrany, se kterými se lze setkat na rozvodně 110/22 kV Fifejdy. V této době probíhá modernizace rozvodny z důvodu zvýšené spotřeby elektrické energie v centru Ostravy. Dojde k rozšíření rozvodny 110 kV a proběhne rekonstrukce rozvodny 22 kV. Práce se zabývá vysvětlením jednotlivých principů funkcí ochran a následně popisuje nové typy ochran, které budou v rozvodně instalovány. Důležitou kapitolou je výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách, jenž popisuje ČSN EN 60909-0 a pomocí této normy lze stanovit minimální zkratový proud, který je důležitý pro korektní nastavení zkratového stupně nadproudové ochrany, zatímco maximální zkratový proud je nutný pro výpočet maximálního vypínacího času, tím je zajištěno, že ochrana při zkratu spolehlivě odpojí. Cílem diplomové práce je správně navrhnout nastavení ochran a zhodnotit navržené řešení.

2. Teoretický rozbor ochran a jištění

Elektrická energie je nedílnou součástí našeho světa a má nezastupitelné místo v dnešní době a tím pádem je důležité zajistit bezpečnost provozu. V elektrizační soustavě se vyskytují nahodilé poruchy, které narušují normální provozní stav, proto vznikly elektrické ochrany, které mají zabránit poruchovým jevům, aby jejich nepříznivé a zároveň nebezpečné následky byly co možná nejmenší. Ochrany reagují na poruchy tím, že odpojí porušené místo od zdroje elektrické energie, z toho důvodu jsou dimenzovány tak, aby při zvýšeném zatěžení odpojily všechna elektrická zařízení, kvůli negativnímu dopadu na ně samotné (ohrožení funkce, poškození či destrukci elektrického zařízení). V elektroenergetice se elektrické ochrany nazývají jistící přístroje v rozvodu nn (do 500V).

2.1 Základní pojmy

2.1.1 Ochrana

Jedná se o elektrické zařízení, které kontroluje a zároveň zajišťuje provozní bezpečnost určité části energetické soustavy (vedení transformátoru, generátoru apod.). Pomocí přístrojových transformátorů napětí a proudů, elektronických převodníků a čidel, obdrží informace o stavu jednotlivých veličin chráněného objektu. Mezi elektrickou ochranou a chráněným objektem je naznačena jejich vzájemná spolupráce na obr. 2.1, jelikož ochrana musí zabezpečit chráněný objekt z důvodu, aby při své funkci nedošlo k překročení meze normální působení. [1]

Na základě zpracování informací (stavových veličin) elektrická ochrana vyhodnotí, o který stav se jedná:

- 1) Normální provozní stav: Ochrana kontroluje stavové veličiny a nereaguje na změny.
- 2) Mimořádný provozní stav: Ochrana měří a signalizuje překročení stavových veličin.
- 3) Poruchový stav: Ochrana měří překročení stavových veličin a přeruší poškozený úsek k chráněnému objektu.

2.1.2 Chráněný objekt

Je fyzikální zařízení energetické soustavy (např. motory, generátory, transformátory apod.), ale může se jednat i o množinu celého systému (např. elektrárna, část sítě vn atd.). Okamžitá funkce chráněného objektu se určuje pomocí stavových veličin. Před návrhem ochrany je velmi důležité se seznámit s fyzikální podstatou chráněného objektu a dále s jeho chováním v různých provozních stavech, z toho plyne, že je nutné znát jeho technická data a pravděpodobné následky při jejich nedodržení. Soubor vztahů, který popisuje chování objektu, se nazývá matematický model chráněného objektu. [2]

2.1.3 Matematický model chráněného objektu

Je stanoven následnými dílčími matematickými modely:

2.1.3.1 Náhradní schéma

Je grafický model, který vyjadřuje základní vazby mezi prvky chráněného objektu a ochranou. Je nutný při každém návrhu.

2.1.3.2 Vektorová diferenciální rovnice

Udává popis dynamického chování chráněného objektu.

Základní rovnice obvodu s indukčností:

$$u(t) = L \cdot \frac{d}{dt} \cdot i(t) + R \cdot i(t) \quad (2.1)$$

Základní rovnice pro obvod s kapacitou:

$$i_C(t) = C \cdot \frac{d}{dt} \cdot U_C(t) \quad (2.2)$$

2.1.3.3 Vektorová diferenční rovnice

Pro potřebu číslicových ochrann potřebujeme spojitou funkci měřených veličin zpracovat po jednotlivých krocích x_k , které nazýváme vzorky. Vzorkování veličin v konstantním intervalu t umožňuje nahradit derivace diferencemi:

$$\Delta x(t) = \Delta t \cdot \frac{d}{dt} \cdot x(t) \quad (2.3)$$

2.1.3.4 Impedanční rovnice

Používá se pro výpočet ustálených harmonických stavů:

$$i(t) = I_{max} \cdot e^{[j(\omega t + \varphi_i)]} \quad (2.4)$$

$$u(t) = U_{max} \cdot e^{[j(\omega t + \varphi_u)]} \quad (2.5)$$

$$Z = R + jX = \frac{u(t)}{i(t)} = \frac{U_{max}}{I_{max}} \cdot e^{[j(\varphi_u - \varphi_i)]} \quad (2.6)$$

2.1.3.5 Fázorový diagram

Je geometrický model chráněného objektu, který odpovídá impedanční rovnici:

$$U = Z \cdot I \quad (2.7)$$

Jde o grafický zápis rovnice, kde napětí a proudy jsou zobrazeny orientovanými úsečkami.

2.1.3.6 Impedanční charakteristika

Je znázornění impedance chráněného objektu v komplexní rovině. Zpravidla tato impedance parametrizuje některou proměnnou chráněného objektu, obvykle délku vedení. Vznikne tak křivka, která charakterizuje chování chráněného objektu v impedanční rovině Z .

2.1.4 Stavová veličina

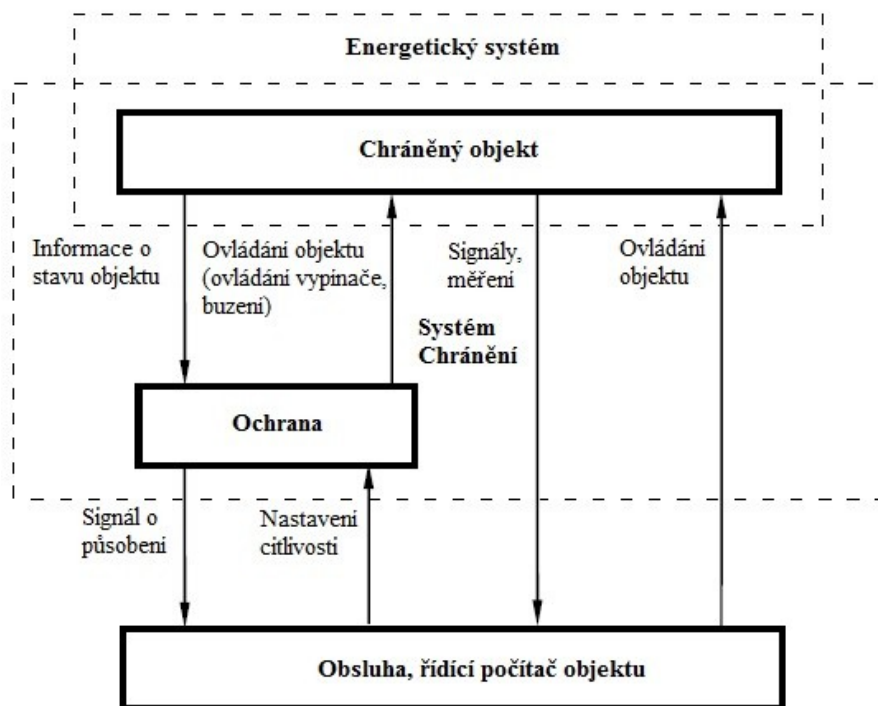
Je fyzikální veličina, u které nám její velikost charakterizuje současné chování chráněného objektu. Stavovou veličinu lze chápat jako napětí, proud, okamžitý kmitočet, okamžitý výkon, mechanické rychlosti, mechanické síly, teploty v určitých místech objektu apod. [2]

2.1.5 Energetická soustava

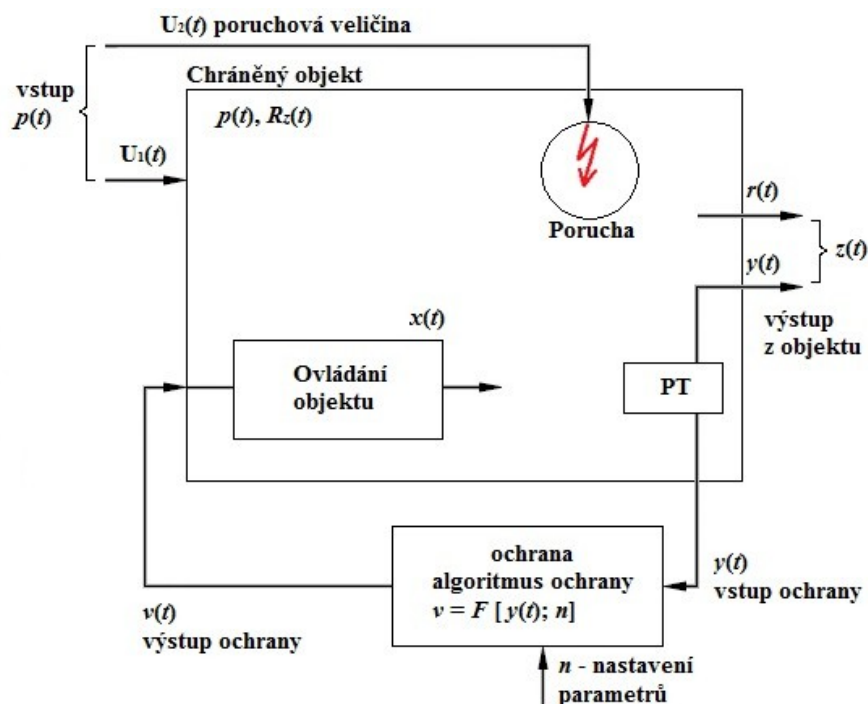
Je vzájemně propojená množina chráněných objektů. [2]

2.2 Ochrana

Do ochrany je přiveden (např. přes přístrojové transformátory) měřený výstup chráněného objektu $y(t)$ obr. 2.2, následně z něho ochrana odvozuje stav chráněného objektu $x(t)$ a určí vektor $v(t)$, kterým zpětně působí na chráněný objekt. [2]



Obr. 2.1 Spolupráce ochrany a chráněného objektu [1]



Obr. 2.2 Princip uzavřené smyčky chránění [1]

2.3 Technická data ochrany

Vstup ochrany $y(t)$ je vektor shodný s měřeným výstupem chráněného objektu. Ze vstupu $y(t)$ ochrana určí, jestli se jedná o normální provozní stav nebo poruchový stav chráněného objektu.

Výstup ochrany $v(t)$ je soubor veličin, kterými působí ochrana na chráněný objekt, je funkcí výstupu chráněného objektu $y(t)$ a parametrů ochrany n .

Parametr ochrany n je soubor konstant, kterými lze měnit algoritmus ochrany F (dobu působení, citlivost, přídržný poměr).

Algoritmus ochrany F je popis funkce ochrany. Jedná se o souhrn vztahů mezi proměnnými $v(t)$ a $y(t)$. Určuje, jakým způsobem působí ochrana na chráněný objekt, jestliže obdrží informace o chráněném objektu $y(t)$.

$$v(t) = F[y(t), n] \quad (2.8)$$

Charakteristika ochrany je grafický zápis algoritmu ochrany.

Rovnice ochrany je algebraický zápis algoritmu ochrany.

Citlivost je velikost měřené veličiny $y(t)$, na kterou je ochrana nařízena a při které působí.

Nařiditelnost je rozsah stavové nebo měřené veličiny, na kterou lze nastavit citlivost ochrany. Uvádí se několik typů nařiditelnosti např. napětíová, proudová, impedanční atd.

Rozlišovací schopnost je schopnost ochrany rozpoznat dva blízké stavy objektu, jenž se liší o Δx , z nichž jeden je poruchový a druhý nikoliv. Minimální velikost Δx , kterou ochrana rozliší, nazýváme rozlišovací schopností ochrany.

Přídržný poměr je poměr velikosti stavové veličiny při návratu (odpadu) ochrany k velikosti stavové veličiny při rozběhu ochrany.

Absolutní chyba Δ_a se definuje jako rozdíl mezi měřenou a nařízenou hodnotou:

$$\Delta_a = N - S \quad (2.9)$$

kde: Δ_a je absolutní chyba

N – měřená hodnota

S – nařízená hodnota

Relativní chyba δ_r je dána vztahem:

$$\delta_r = \frac{\Delta_a}{S} \cdot 100 \% \quad (2.10)$$

Doba působení ochrany t_p je časový úsek mezi vznikem poruchy a signálem na výstupu ochrany.

Nařiditelnost doby působení popisuje rozsah nařízení časového členu ochrany.

Přetížitelnost ochrany vyjadřuje maximální velikost měřené veličiny $y(t)$, která působí definovanou dobu a neohroží životnost ochrany.

Přetížitelnost vstupních napěťových obvodů popisuje maximální, trvale dovolené napětí na vstupních napěťových obvodech ochrany, zpravidla se udává $1,2 U_n$ ochrany.

Přetížitelnost vstupních proudových obvodů je dána následujícími parametry:

- Tepelná přetížitelnost, značí se I_{th} , určuje dovolené přetížení po dobu 1 sekundy, běžně se jedná o $50 I_n$ nebo $100 I_n$ ochrany.
- Dynamická přetížitelnost, značí se I_{dyn} , určuje dovolenou amplitudu maximálního proudu po dobu jedné půlperrody.
- Trvalá přetížitelnost, která se označuje I_∞ , je charakterizována obvykle $1,2 I_n$ nebo $2 I_n$.

Spotřeba ochrany je dána příkonem potřebným pro provoz ochrany. Udává se samostatně pro vstupy ochrany a pro pomocný napájecí obvod při jmenovitých hodnotách.

Primární ochrana pracuje bez přístrojových transformátorů, z toho plyne fakt, že napětí a proud jsou přivedeny přímo z chráněného objektu.

Sekundární ochrana je ochrana, která je připojena k chráněnému objektu přes přístrojové transformátory.

Prvek je základní stavební díl ochrany (např. transformátor, tranzistor, relé apod.).

Člen ochrany je soubor několika prvků ochrany, jenž tvoří samostatný funkční celek.

Blokování ochrany popisuje činnost elektrické ochrany, která je vázaná funkcí jiného přístroje.

Základní ochrana chrání objekt, který mohou ohrozit závažné nahodilé poruchy. Jedná se o hlavní a nejdůležitější ochranu.

Záložní ochrana má za úkol nahradit základní ochranu v případě jejího selhání, přičemž doba působení záložní ochrany je delší než doba působení základní ochrany. [2]

2.4 Základní členy ochrany

Ochrana se skládá z těchto základních členů (nemusí je obsahovat všechny):

- Vstupní člen
- Popudový člen
- Měřicí člen
- Logika ochrany
- Napájecí člen
- Časový člen
- Koncový člen
- Filtry souměrných složek napětí a proudu

2.4.1 Vstupní člen

Převádí vstupní signály y na zpracovatelný tvar a úroveň. Dále vstupní člen zjišťuje z $y(t)$ stav chráněného objektu $x(t)$ a v neposlední řadě chrání vnitřní obvody ochrany proti rušení a chybným signálům. Jmenovité vstupní hodnoty ochrany se udávají 100 V, 5 A nebo 1 A. Zmíněné veličiny jsou přivedeny na svorky ochrany z přístrojových transformátorů napětí a proudu. Měřicí členy pracují uvnitř ochrany na úrovních jednotek voltů a miliampérů. Vstupní členy ochrany převádějí vstupní veličiny na tyto úrovně pomocí děličů, transformátorů a bočníků. Transformátor napěťový nebo proudový galvanicky odděluje obvody ochrany od okolí. V jiných situacích má měřicí člen stejnosměrný vstupní signál. Z toho plyne, že vstupní člen obsahuje mimo jiné z již uvedených částí ještě navíc usměrňovače. Specifickou skupinu tvoří vstupní členy číslicových ochrany. Jsou to převodníky A/D, které převádějí a vzorkují vstupní veličinu z analogového tvaru na číslicový tvar. [2]

2.4.2 Popudový člen

Má zajistit rozběh ochrany. U digitálních ochrany, kde popud působí rozběh např. celého počítače, se uvažuje tento člen vždy samostatně. Digitální ochrany mají zpravidla několik druhů popudů. Jestliže dojde ke vzniku poruchy v energetické soustavě, dává popud informaci o poruše logice a měřicímu členu ochrany. Popudový člen musí mít vyšší citlivost než měřicí člen. Je dobré mít na paměti, že ne každá porucha má být odstraněna jedinou ochranou. O tom, zda daná porucha patří do kompetence ochrany, rozhodne logika a měřicí člen. Popudový člen pouze zaručí rozběh těchto obvodů. Na vstup popudu přichází ze vstupu stavová veličina. Popud se konstrukcí ani funkcí podstatně neliší od měřicího členu. Může mít obdobnou charakteristiku. Není nutné, aby měřicí a popudový člen jedné ochrany byly téhož typu. V některých případech mají distanční ochrany popud nadproudového typu a měřicí člen je impedančního typu. U tranzistorových a elektromechanických ochrany je vhodné, aby popud byl nejcitlivějším stupněm měřicího členu. [2]

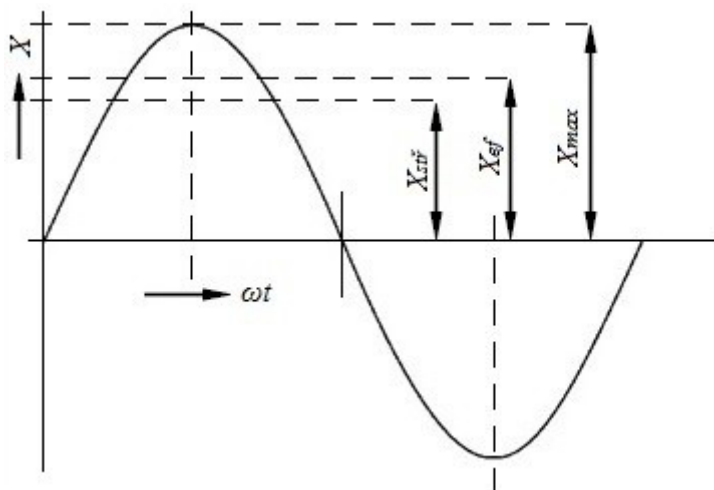
2.4.3 Měřicí člen

Rozhoduje o poruše v chráněném objektu. Na jeho vstup je přiveden stav objektu. Měřicí člen určuje hranici charakteristiky ochrany mezi normálním provozním stavem a poruchovým stavem. Je tedy zřejmé, že většina vlastní ochrany je závislá právě na měřicím členu a jeho algoritmu. Jedná se o citlivost, přesnost, nařiditelnost a selektivitu. Rozdíl mezi měřicím členem napětové, proudové, nebo kmitočtové ochrany není nijak podstatný. Tyto tři členy mají významný společný znak a to ten, že měří amplitudu střídavé veličiny u nebo i . Z toho důvodu je vhodné analyzovat měřicí členy podle charakteru funkce. V následujícím výkladu jsou popsány měřicí členy z tohoto hlediska. Základní parametry střídavých veličin jsou amplituda a fáze. Proto rozlišujeme dva základní typy měřicích členů. Součinnový člen je závislý na fázi, zatímco amplitudový člen měří amplitudu. Z těchto dvou měřicích členů jsou odvozeny další čtyři typy. Celkem rozlišujeme šest měřicích členů tranzistorových a elektromechanických ochrany: [2]

- Amplitudový měřicí člen
- Závislý měřicí člen
- Rozdílový měřicí člen
- Součinnový měřicí člen
- Amplitudový komparátor
- Fázový komparátor

2.4.3.1 Amplitudový měřicí člen

Měří velikost napětí a proudu. Začne působit při překročení nastavené veličiny K (citlivost). Používají se pro měření napětí, proudu, výkonu, obsahu harmonických složek nebo obsahu zpětných složek v různých ochranách.



Obr. 2.3 Měření úrovně amplitudovým členem [2]

2.4.3.1.1 Střídavý amplitudový měřicí člen na střední hodnotu:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| dt \quad (2.11)$$

kde K ... citlivost

T ... doba periody měřené veličiny $x(t)$

$x(t)$... měřená veličina

pro harmonický průběh $x(t) = x \cdot \sin \omega t$ platí: $K = \frac{2}{\pi} \cdot x$

2.4.3.1.2 Střídavý amplitudový měřicí člen na efektivní hodnotu:

$$K^2 = \frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt \quad (2.12)$$

pro harmonický průběh $x(t) = x \cdot \sin \omega t$ platí: $K^2 = \frac{x^2}{2}$

2.4.3.1.3 Stejnoseměrný amplitudový měřicí člen:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad (2.13)$$

pro harmonický průběh $x(t) = x \cdot \sin \omega t$ platí: $K = 0$

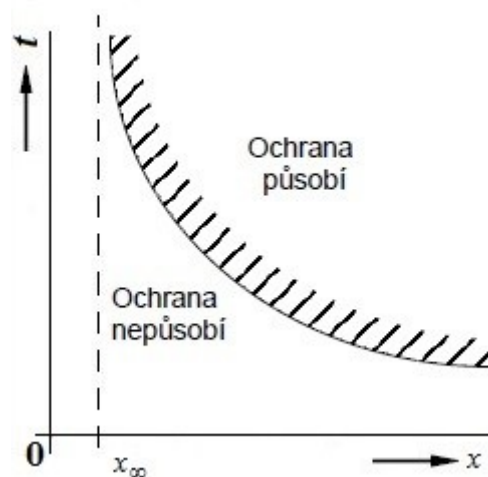
2.4.3.1.4 Amplitudový člen na maximální hodnotu:

$$K = \max[x(t)] \quad (2.14)$$

pro harmonický průběh $x(t) = x \cdot \sin \omega t$ platí: $K = x$

2.4.3.2 Závislý měřicí člen

Zjišťuje velikost napětí nebo proudu v závislosti na době trvání poruchy, (tj. doba působení závisí na velikosti vstupní měřené veličiny). Závislé měřicí členy používáme v závislých napěťových a proudových ochranách, např. v ochraně při přetížení. Následně v ochraně při nesouměrnosti a dále tam, kde stavová veličina nepoškozuje chráněný objekt přímo svojí velikostí, ale akumulací energie během trvání poruchy. [2]



Obr. 2.4 Charakteristika závislého měřicího členu, x_{∞} je trvale dovolená velikost vstupního proudu [2]

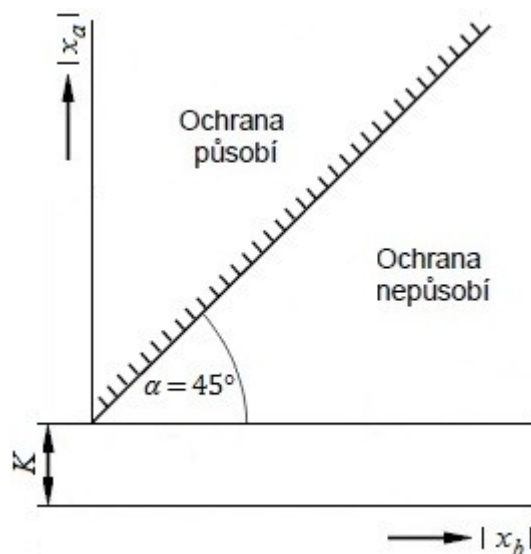
Z obr. 2.4 je patrné, že čím větší je měřená veličina, tím je menší doba působení.

$$t = \frac{K}{(x - x_{\infty})^n} \quad x > x_{\infty} \quad (2.15)$$

$$t = \infty \quad x \leq x_{\infty} \quad (2.16)$$

2.4.3.3 Rozdílový měřicí člen

Porovnává velikost dvou vstupních veličin. Rozdílový měřicí člen působí, má-li veličina $x_a(t)$ hodnotu větší než druhá veličina $x_b(t)$ o nastavenou hodnotu citlivosti měřicího členu K . S rozdílovým měřicím členem se lze setkat u rozdílových ochran.



Obr. 2.5 Charakteristika rozdílového měřicího členu [2]

2.4.3.3.1 Rozdílový měřicí člen na střední hodnotu:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T [|x_a(t)| - |x_b(t)|] dt \quad (2.17)$$

2.4.3.3.2 Rozdílový měřicí člen na efektivní hodnotu:

$$K^2 = \frac{1}{T} \int_0^T [|x_a(t)| - |x_b(t)|]^2 dt \quad (2.18)$$

2.4.3.4 Součinnový měřicí člen

Může být realizován elektrodynamickým nebo indukčním relé, analogovým násobením s integrátorem, nebo číslicovým násobením. Jsou-li vstupy členů napětí a proud, měří člen činný výkon (wattová ochrana) nebo jalový výkon (jalová ochrana). Součinnový člen se používá ve wattových a jalových ochránách. [2]

Součinnový člen má rovnici:

$$K = \frac{1}{T} \int_0^T x_a(t) x_b(t) dt \quad (2.19)$$

Pro harmonický průběh:

$$x_a(t) = X_a \sin \omega t \quad (2.20)$$

$$x_b(t) = X_b \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.21)$$

Po dosazení dostaneme:

$$K = X_a X_b \cos \varphi \quad (2.22)$$

Citlivost je:

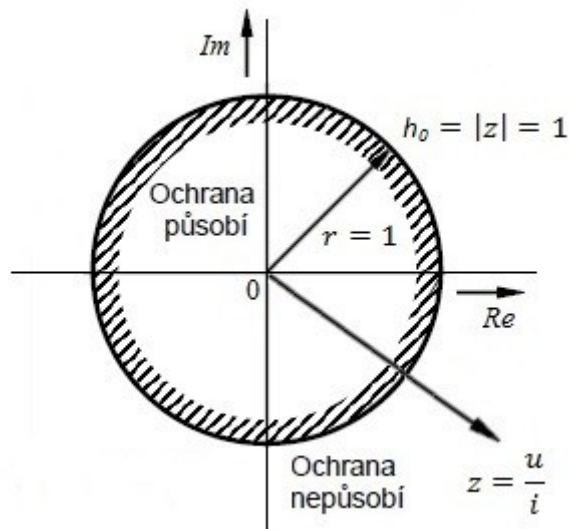
$$UI \cos \varphi = P \pm K \quad (2.23)$$

2.4.3.5 Amplitudový komparátor

Je zvláštní případ rozdílového měřicího členu se značnou citlivostí. Dále relé je tzv. nulový indikátor a citlivost měřicího členu $K = 0$. Pro takový člen platí rovnice:

$$\int_0^T [|x_a(t)| - |x_b(t)|] dt = 0 \quad (2.24)$$

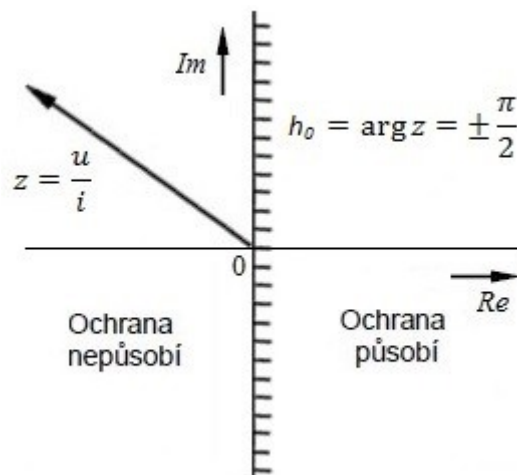
Lze ho realizovat stejně jako rozdílový člen. Používá se především jako součást distančního měřicího členu nebo popudového členu. Jsou-li vstupy členu napětí a proud, měří fázový komparátor impedanci Z .



Obr. 2.6 Charakteristika amplitudového komparátoru [2]

2.4.3.6 Fázový komparátor

Je součinný měřicí člen se značnou citlivostí. Citlivost měřicího členu $K = 0$. Následně výstup nespočívá na amplitudách obou stavových veličin, ale pouze na jejich fázovém úhlu. Fázový komparátor se používá u srovnávacích ochran, popř. jako součást měřicího distančního členu nebo měřicího směrového členu.



Obr. 2.7 Charakteristika fázového komparátoru [2]

2.4.4 Logika ochrany

Zpracovává logický signál z popudu a určuje funkci měřicího členu, následně na základě signálu z měřicího členu určuje funkci koncovému členu. Všechny vstupy a výstupy logiky jsou booleovské funkce. Její strukturu lze vytvořit jako soustavu tří logických funkcí. Jsou to funkce součtu, součinu a negace. Pro realizaci logiky se používají tyto členy:

- Klasická pomocná relé
- Jazyčková relé
- Diody
- Tranzistory
- Integrované obvody
- Technické vybavení (hardware) nebo programované vybavení (software) číslicového procesoru.

2.4.5 Napájecí člen

Má za úkol napájet ochrany. Napájení lze provádět ze střídavé sítě nebo z akumulátorových baterií. Výhodnější je napájet ochranu z akumulátorových baterií a to přímo, přes stabilizátor nebo s galvanickým oddělením, jelikož napájení ze střídavé sítě je méně spolehlivé pro dodávky. Způsoby napájení:

2.4.5.1 Ochrany bez napájení

Jsou to ochrany, které nepotřebují pomocné napětí.

2.4.5.2 Přímé napájení ze staniční akumulátorové baterie

Je to nejpoužívanější způsob napájení ochran. Akumulátorová baterie je spolehlivá, ovšem vyžaduje náročnou údržbu.

2.4.5.3 Napájení ze střídavé sítě

Zdroje ve střídavé síti jsou méně spolehlivé než akumulátory, a proto může často dojít k výpadku.

2.4.5.4 Napájení přes stabilizátor

Používá se hlavně u tranzistorových a číslicových ochran. Tam se vyžaduje lepší stabilizace a filtrace napájecího napětí než pro elektromechanické členy.

2.4.5.5 Akumulátor umístěný v ochraně

Pro napájení tranzistorových ochran se uplatňuje značný požadavek na chránění proti rušení. Pro dokonalé oddělení napájecích obvodů lze tohoto způsobu napájení použít. Akumulátor je průběžně dobíjen přes dokonalé filtry. Nabíjecí proud je malý a filtry mohou být proto konstruovány s velmi velkým odstupem k rušení.

2.4.5.6 Napájení z přístrojových transformátorů

V tomto případě se nevyžaduje použití staniční baterii. V okamžiku poruchy obvykle klesá napětí chráněného objektu, zatímco jeho proud vzrůstá. Vhodnější je tedy napájení ochran z PTP. Pokud se použije napájení z PTN, kombinuje se s napájením z PTP.

2.4.6 Časový člen

Prodlužuje dobu působení ochrany. Vstupní signál do časového členu je přiváděn z logiky. Používá se z těchto důvodů:

2.4.6.1 K zajištění selektivity

Zpožděním ochrana umožňuje funkci jiné ochrany, která je blíže k poruše. Podobně záložní ochrana může mít nastaveno větší zpoždění než ochrana základní.

2.4.6.2 Využití možné akumulace energie v chráněném objektu

Zpožděním může ochrana např. dovolit přetížení, pokud toto přetížení neohrozí chráněný objekt. Konstantní zpoždění je náhrada závislého měřicího členu, nicméně není tak dokonalá. Charakteristika závislého členu lépe kopíruje zatěžovací křivku chráněného objektu než stupňová charakteristika.

2.4.6.3 Vyloučení chybného působení ochrany

Je způsobeno přechodnou poruchou krátkého trvání.

2.4.7 Koncový člen

Má za úkol upravit signál logiky tak, aby byl schopen předání ovládacím zařízením chráněného objektu, tj. musí mít dostatečně vysokou úroveň a snést vnější rušení. Kontakty výstupních obvodů koncového členu musí mít dostatečnou zatížitelnost. Signál z koncového členu působí na vypínací cívku vypínače, ale může provádět pouze signalizaci. Koncové členy ochran jsou nejčastěji pomocná relé s výkonovými kontakty. Na jejich vstup přichází signál z logiky.

2.4.8 Filtry souměrných složek napětí a proudu

Jsou důležité stavové veličiny chráněného objektu, podle nich lze určit nesymetrické poruchy.

Dělení:

- Filtry nulové složky napětí a proudu.
- Filtry sousledné a zpětné složky napětí a proudu. [2]

2.5 Funkce a požadavky na ochrany

Ochrana má za úkol detekovat překročení meze normálního provozu chráněného objektu a provést vypnutí v čase, který zamezí vzniku škod na chráněném objektu. Dále musí zajistit, aby se porucha nerozšířila na ostatní prvky elektrizační soustavy. V neposlední řadě musí být správně navržen rozsah oblasti chráněné ochranou, kvůli zálohování.

Ochrana musí splňovat jistá kritéria, aby nedošlo k přerušení provozu energetické soustavy. Obecně nelze určit, který z požadavků je důležitější než jiný, protože to záleží na druhu chráněného objektu, na okolní soustavě a na způsobu provozu. Požadavky na ochrany:

2.5.1 Selektivita

Zajišťuje vypnutí té konkrétní části elektrizační soustavy, která je postižena poruchou. Zajištění selektivity se provádí několika způsoby:

- Časovým odstupňováním vypínacích časů**, základní princip spočívá v tom, že u ochran ve směru napájení se čas prodlužuje.
- Odstupňováním úrovně nastavené veličiny** (proud, napětí a impedance).
- Zpracováním více veličin současně** (impedanční ochrany).
- Zpracováním informací z více míst** (rozdílové a srovnávací ochrany)
- Kombinací více způsobů výše uvedených**

2.5.2 Přesnost ochrany

Je poměrná chyba citlivosti ochrany a je vyjádřena v procentech. Kvalita ochrany se zvětšuje s její přesností.

$$\delta = \left| \frac{x - x_b}{x_a} \right| \cdot 100 \quad (2.25)$$

kde: δ je přesnost (relativní chyba) ochrany v %,

x je nastavení citlivosti ochrany,

x_b je skutečná citlivost ochrany,

x_a je rozsah nařiditelnosti ochran.

2.5.3 Citlivost

Je velikost stavové veličiny, na kterou je ochrana nařízena a podle níž určuje poruchu. Důležitá je při poruchách a při mimořádném provozním stavu v daném úseku elektrizační soustavy. Je podstatné se vyhnout příliš velké citlivosti, která přispívá k chybným působením ochrany.

2.5.4 Spolehlivost

Určuje kvalitu ochrany, jelikož při normálním provozním stavu ochrana nesmí samovolně působit, pokud se neobjeví porucha a ochrana nesmí při poruše selhat.

2.5.5 Nařiditelnost

Určuje rozsah hodnot měřené nebo stavové veličiny, na které lze nastavit citlivost ochrany.

2.5.6 Rychlost působení

Rychlost působení ochrany snižuje možné nebezpečné následky, které mohou zapříčinit poruchy. Při mimořádném stavu (např. rozběh motoru) je zapotřebí nastavit na ochraně delší čas. Nejrychlejší vypínací časy ochrany se pohybují v rozmezí 20 – 40 ms, zatímco vypínací doba výkonových vypínačů je 50 – 60 ms. Celková doba působení zkratového proudu je dána součtem těchto časů. V případě aplikace časového odstupňování se jedná o záložní funkci ochrany a v tomto případě je rychlost působení ochrany výrazně delší.

2.6 Zálohování ochran

Hlavní ochrana zajistí rychlé a selektivní vypnutí při poruše určité části elektrizační soustavy. Pro jištění zvláště důležitých částí elektrizační soustavy, je zapotřebí navrhnout dvě hlavní ochrany. Pokud nastane takový případ, že dojde k selhání hlavní ochrany, je nutné zajistit vypnutí poruchy záložní ochranou. Rozlišujeme záložní ochrany na vzdálené záložní ochrany a místní záložní ochrany. Každá ochrana musí být zálohována, zálohování ochran je stejně důležité jako chránění hlavní ochranou.

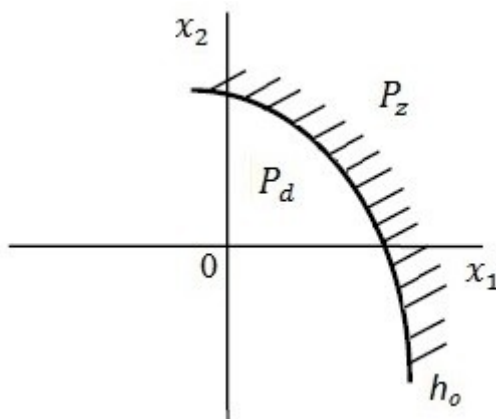
- **Vzdálená záložní ochrana** má vycházet na stejném principu jako ochrana, kterou zálohuje (má mít i stejnou charakteristiku). Ochrana zajistí vypnutí poruchy ve svém úseku jako hlavní a v následujícím úseku jako záložní ochrana.
- **Místní záložní ochrana** musí být založena na jiném principu než hlavní ochrana. Musí mít samostatné napájení pomocným napětím a samostatný vypínací obvod včetně napojení na jiný měřicí bod měřené veličiny než hlavní ochrana, vypíná stejný vypínač jako ochrana hlavní. (mimořádně mohou být vypínače dva). [2]

2.7 Zásady kontroly funkce ochran

Je důležité vyhodnotit, zda zvolená ochrana působí správně, či nikoliv. Při vyhodnocení působení ochran je důležité nakreslit kompletní schéma oblasti působení ochran. Dále do zakresleného schématu je nutné zapsat všechny údaje o působení ochran a na základě výše zmíněných skutečností se rozhodnout, jestli ochrany působily správně nebo ne. V případě negativního výsledku je nutné hledat příčinu chybného působení. Možných příčin se uvádí hned několik např. špatně navržená logika ochran, vadná ochrana nebo nevhodná charakteristika ochrany atd. Obecně platí, že je nutná kontrola plánu nastavení ochran po každé změně v koncepci napájení dané elektrizační soustavy nebo po změně přístrojů v dané soustavě. Minimálně jednou ročně se doporučuje kontrolovat plán ochran. [2]

2.8 Poruchové stavy

V elektrizační soustavě je nutno zohlednit fakt, že kromě běžných normálních provozních stavů se mohou nahodile nebo úmyslně vyskytnout tzv. Poruchové stavy. Tyto nežádoucí a zároveň nebezpečné stavy, nelze zcela vyloučit i v případě dodržení všech kritérií, předpisů a dokonce i norem. Na základě těchto informací je důležité definovat poruchu. Obecně se jedná o stav, který je nebezpečný pro chráněný objekt. Množina stavů chráněného objektu tvoří stavový prostor P chráněného objektu. V množině stavů je nutno rozlišit stavy dovolené P_d (odpovídají normálnímu provozu) a stavy zakázané P_z (chráněný objekt mohou poškodit). Množina h_o tvoří charakteristiku ochrany, tj. hranice prostorů mezi dovolenými a zakázanými stavy. [2]



Obr. 2.8 Stavový prostor chráněného objektu [2]

2.9 Základní pojmy

Zkratový proud: nadproud v důsledku zkratu v elektrické soustavě.

Předpokládaný zkratový proud: proud, který by protékal obvodem, kdyby byl zkrat nahrazen ideálním spojením se zanedbatelnou impedancí bez změny napájení.

Souměrný zkratový proud: efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu se zanedbanou eventuální aperiodickou složkou proudu.

Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k'' : efektivní hodnota střídavé souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku vzniku zkratu, při konstantní impedanci.

Stejnoseměrná (aperiodická) složka $i_{d.c.}$ zkratového proudu: střední hodnota horní a dolní obalové křivky průběhu zkratového proudu klesající ze své počáteční hodnoty k nule.

Nárazový zkratový proud i_p : maximální možná okamžitá hodnota předpokládaného zkratového proudu.

Souměrný zkratový vypínací proud i_b : efektivní hodnota úplné periody souměrné složky předpokládaného zkratového proudu v okamžiku oddělení kontaktů prvního pólu spínacího zařízení.

Ustálený zkratový proud I_k : efektivní hodnota zkratového proudu, který zůstává po odeznění přechodného jevu.

Záběrový proud I_{LR} : největší souměrný efektivní proud asynchronního motoru se zabrzděným rotorem, který je napájen jmenovitým napětím U_{rM} při jmenovitém kmitočtu.

Trojfázový zkratový výkon S_k'' : fiktivní hodnota vyjádřená součinem počátečního rázového zkratového proudu I_k'' , jmenovitého napětí sítě U_n a součinitele $\sqrt{3}$.

Elektricky blízký zkrat: zkrat, při kterém příspěvek alespoň jednoho synchronního stroje k předpokládanému počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu překračuje dvojnásobek jmenovitého proudu stroje, nebo zkrat, při kterém příspěvek asynchronních motorů překračuje 5% počátečního souměrného rázového zkratového proudu I_k'' bez motoru.

Elektricky vzdálený zkrat: zkrat, při kterém velikost souměrné složky předpokládaného zkratového proudu zůstává v podstatě konstantní.

Napěťový součinitel c : poměr mezi napětím ekvivalentního napěťového zdroje a jmenovitým napětím sítě U_n děleným $\sqrt{3}$.

Poznámka: uvedený napěťový součinitel c je nutný z následujících důvodů:

- Kolísání napětí v závislosti na čase a místě
- Přepínání odboček transformátoru
- Zanedbání zátěže a kapacitních reaktancí
- Chování generátorů a motorů při přechodném ději

Doba trvání zkratu t_k : doba od okamžiku vzniku zkratu až do jeho konečného vypnutí ve všech fázích postižených zkratem.

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud I_{th} : efektivní hodnota, která má stejné tepelné účinky a stejnou dobu trvání jako skutečný zkratový proud, který může obsahovat stejnosměrnou složku a s časem se mění. [3]

2.10 Druhy poruch

Poruchových stavů je velké množství typů, příkladem mohou být tyto:

Zkrat: náhodné nebo úmyslné vodivé spojení mezi dvěma nebo více vodivými částmi vedoucí k tomu, že rozdíl elektrických potenciálů mezi těmito vodivými částmi je roven nule nebo má hodnotu blízkou nule.

Nejčastější druhy zkratů, které mohou nastat v energetických soustavách:

- Trojfázový zkrat
- Trojfázový zemní zkrat
- Dvoufázový zkrat
- Dvoufázový zemní zkrat
- Jednofázový zkrat

Zemní spojení: je definováno jako spojení jedné fáze se zemí v soustavě s kompenzovaným nebo izolovaným uzlem. Dochází k poklesu fázového napětí postižené fáze až na nulu, zatímco fázové napětí zdravých fází vzroste na hodnotu sdruženého napětí. Zemní spojení je hlavně nebezpečné pro velkou pravděpodobnost následného zkratu.

Přetížení: je definováno jako průchod příliš velké energie zařízením. Způsobuje urychlení stárnutí izolace a tepelné poškození. Velikost poškození závisí na velikosti proudu a době trvání přetížení.

Přepětí: má za následek poškození a stárnutí izolace, zvyšuje nebezpečí následného zkratu.

Podpětí: způsobuje proudové zatížení.

Snížení frekvence: je příčinou zvětšení magnetizačních proudů i_{mg} a následně zvětšení ztrát a oteplení. Signalizuje většinou nedostatek činného výkonu v elektrizační soustavě. Při nedostatku výkonu je nutné snížit spotřebu elektrické energie. Zvýšení nebo snížení frekvence má neblahý vliv na provoz turbín a spotřebičů.

$$i_{mg} = \frac{u}{2\pi f L_h} \quad (2.26)$$

Zvýšení frekvence: bývá způsobeno poruchou regulace výkonu. Působí především mechanicky.

Nesouměrnost napětí: způsobuje nesouměrnost proudu.

Nesouměrnost proudu: má negativní vliv u točivých strojů, kde následkem nesouměrnosti proudu vznikají přídavné vířivé ztráty a rotor se může nebezpečně zahřívat. Nesouměrnost proudu je většinou způsobena nesouměrností zátěže nebo přerušením vodičů.

Zpětný tok výkonu: je porucha, která je nebezpečná pro točivé stroje. Zpětný výkon může poškodit připojené mechanické stroje (tj. přenos energie z generátoru do turbíny nebo z motoru do sítě). Příčina zpětného toku výkonu může být provedena chybnou regulací výkonu nebo špatnou energetickou bilancí sítě.

Ztráta buzení: nastává u synchronních točivých strojů, kdy dojde ke zmenšení budicího proudu pod mez statické stability. Způsobuje snížení napětí, které vede k ohrožení stability sítě nebo při ztrátě buzení stroj s vyniklými póly ztratí synchronismus (stroj přejde do asynchronního chodu) a to může způsobit elektrická i mechanická poškození.

Ložiskové proudy: mají za následek přídavné oteplení a tím i mechanické poškození ložisek točivých strojů. Vznikají při magnetických nesouměrnostech ve statoru i rotoru stroje.

Kývání synchronního stroje: je periodický pohyb rotoru, který se připojuje k synchronní rotaci. Dochází k němu po vychýlení rotoru z rovnovážné polohy, vznikne tedy moment, který vrací rotor zpět a ten následně svojí setrvačností překývne na opačnou stranu. Nastává kývání motoru superponované k jeho synchronní rovnoměrné rotaci. [2] [3] [4]

2.11 Rozdělení ochran

Tab. 2.1 Rozdělení ochran podle jednotlivých kritérií [2] [4]

Rozdělení ochran						
Podle typu chráněného objektu	Podle druhu poruchy	Podle doby působení	Podle konstrukce	Podle funkčního principu a měřené veličiny	Podle funkce	Podle připojení k chráněnému objektu
Generátoru	Zkratová	Mžikové	Elektromechanické	Proudová	Hlavní ochrana	Primární ochrana
Motoru	Na přetížení	Časově závislé	Statické	Napět'ová	Záložní ochrana	Sekundární ochrana
Transformátoru	Podpět'ová	Časově polozávislé	Digitální	Distanční		
Přípojnic	Přepět'ová	Časově nezávislé		Rozdílová		
Vedení	Podfrekvenční			Srovnávací		
Kabelu	Nadfrekvenční			Wattová		
Speciální	Při zemním spojení			Jalová		
	Při zpětném toku výkonu			Frekvenční		
	Při ztrátě buzení			Při nesouměrnosti		
	Při nesouměrnosti					

2.12 Základní typy ochran

2.12.1 Nadproudové ochrany

Měří velikost proudu. Nadproudové ochrany začnou působit tehdy, jestliže nastane zkrat nebo přetížení. Rovnice vyjadřuje závislost doby působení t na proudu i : $F(i, i_\infty, t) = 0$, kde: i_∞ je trvale dovolený proud ($t = \infty$). Výhoda nadproudových ochran spočívá v jejich jednoduchosti. Projektují se jako záložní ochrany nebo u méně důležitých vedení, protože jejich funkce není tak selektivní jako funkce rozdílových a distančních ochran. Je dobré mít na paměti, že nadproudové ochrany jsou dimenzovány s časovým zpožděním a nejsou vhodné pro rychlé vypínání. [4] Podle časové závislosti lze rozlišit několik základních typů:

2.12.2 Závislá nadproudová ochrana

U této ochrany je vypínací čas závislý na velikosti protékajícího proudu. Stupeň časové selektivity u závislých ochran je větší (z důvodu setrvačnosti) než u nezávislých ochran. Časově závislá nadproudová ochrana má vypínací charakteristiku ve tvaru hyperboly. Jejich výhoda spočívá ve zkrácené době vypnutí na začátku vedení. Nesmí však dojít ke kombinaci časově závislých a nezávislých nadproudových ochran na stejné síti, protože v takovém případě může docházet k prolínání vypínacích charakteristik a to vede k neselektivnímu vypínání. [4]

Působí v čase:

$$t = \frac{K}{(I - I_\infty)^n} \quad \text{pro } I > I_\infty \quad (2.27)$$

$$t = \infty \quad \text{pro } I \leq I_\infty \quad (2.28)$$

Vypínací čas (podle IEC 255) závisí na proudu podle vztahu:

$$t = \frac{K}{\left(\frac{I}{I_\infty}\right)^\alpha - 1} T_p \quad (2.29)$$

kde: t je teoretický čas působení.

K je konstanta charakterizující relé.

T_p je časový násobitel.

I je poruchový proud.

I_∞ je nastavený rozběhový proud.

α je index charakterizující algebraickou funkci.

Charakteristiku nadproudové závislé ochrany lze zvolit tímto způsobem:

$$(I - I_{\infty})t = K \quad (2.30)$$

kde: I_{∞} je určeno jmenovitým proudem chráněného objektu.

K je nastavení ochrany.

Zkratový proud na začátku chráněného úseku vedení má tvar: (je-li \mathbf{Z}_s impedance napájecí soustavy)

$$I_z = \frac{U_i}{Z_s} \quad (2.31)$$

a na konci chráněného úseku o impedanci \mathbf{Z}_l :

$$I_k = \frac{U_i}{|\bar{Z}_s + \bar{Z}_l|} \quad (2.32)$$

Kvůli zjednodušení další úvahy je vhodné zvolit $\mathbf{I}_{\infty} = \mathbf{0}$. Pak vypínací čas na začátku chráněného úseku je ve tvaru:

$$t_z = \frac{K}{I_z} = \frac{K \cdot \bar{Z}_s}{U_i} \quad (2.33)$$

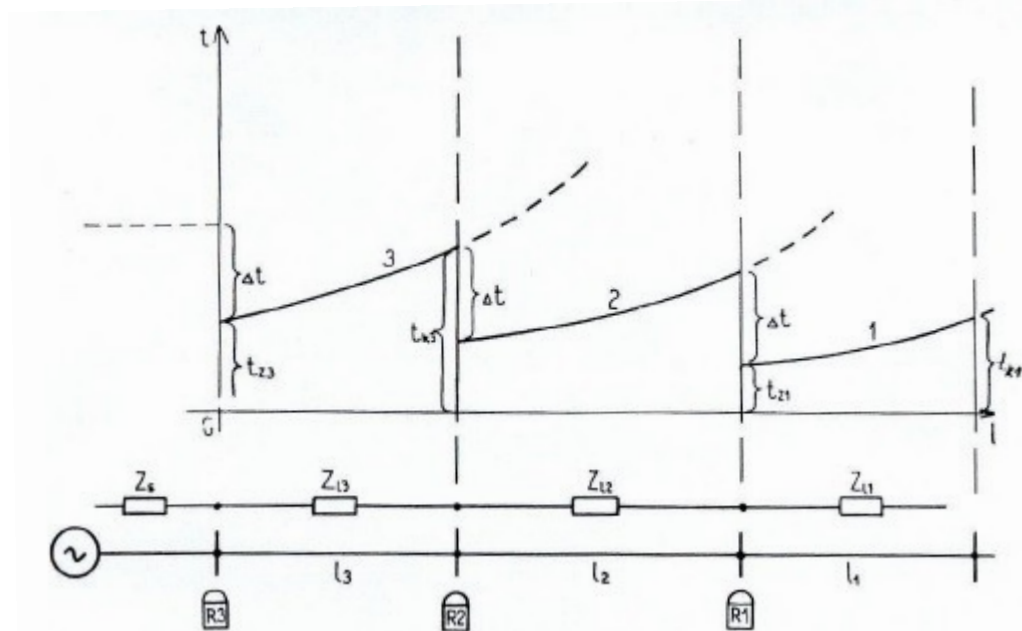
a na konci chráněného úseku:

$$t_k = \frac{K}{I_k} = \frac{K \cdot |\bar{Z}_s + \bar{Z}_l|}{U_i} \quad (2.34)$$

Následně poměr doby vypnutí zkratu na začátku a konci chráněného úseku se rovná:

$$\frac{t_z}{t_k} = \left| \frac{\bar{Z}_s}{\bar{Z}_s + \bar{Z}_l} \right| \quad (2.35)$$

Těžké zkraty, které se vyskytnou blíže ke zdroji, budou vypínány v čase kratší než \mathbf{t}_k . Za předpokladu, že musí platit podmínka $\mathbf{Z}_l \geq \mathbf{Z}_s$.



Obr. 2.9 Vypínací plán závislých nadproudových ochran [4]

2.12.3 Polozávislá nadproudová ochrana

Její princip působení vychází z ochrany závislé a nezávislé. V první části má charakteristiku působení shodnou jako závislá ochrana, ovšem změna nastává od velikosti proudu I_0 . Pak platí, že pro větší proudy $I > I_0$ má konstantní dobu působení, v tomto případě působí jako nezávislá nadproudová ochrana.

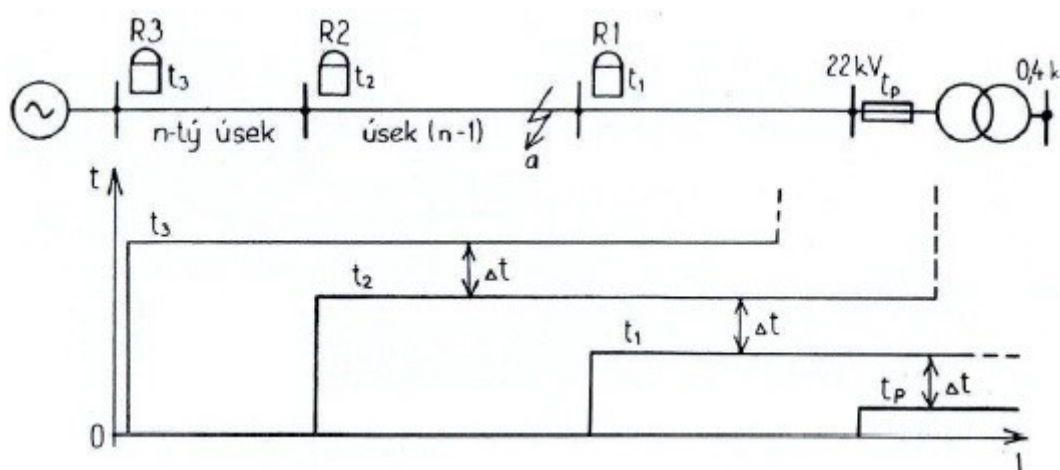
2.12.4 Mžiková ochrana

Tato ochrana začne působit při překročení nastaveného proudu I_k bez časového zpoždění. Moderní ochrany mají zpoždění do 10 ms a je to dáno pouze vlastním časem ochrany.

2.12.5 Nezávislá nadproudová ochrana

Použití této ochrany je velmi rozšířené v paprskových sítích. V nastaveném čase t_k působí při dosažení proudu I_k . Při dosažení proudu $I > I_k$ doba působení již nezávisí na velikosti proudu I a je konstantní. Výhoda těchto ochran je, že vhodným proudovým nastavením se mohou vzájemně zálohovat. Při nastavení všech ochran na velikost nejmenšího zkratového proudu na konci vedení, musí nabíhat všechny ochrany od místa zkratu směrem ke zdroji. Nevýhodou ochran je, že největší zkratové proudy (nejtěžší zkraty), které se vyskytnou blíže ke zdroji, jsou vypínány nejpozději.

Ochrana, která se nachází nejdále od zdroje, působí v nejkratším čase t_1 . Tento čas musí být dostatečně dlouhý, aby v další rozvodné síti působily nejdříve pojistky a současně nepůsobila ochrana R_1 . Ochrana R_2 (nachází se blíže ke zdroji) je nutno nastavit na čas $t_2 = t_1 + \Delta t$ a ochranu R_3 je zapotřebí seřadit na čas $t_3 = t_2 + \Delta t$. U nadproudových ochran bývá koordinační interval Δt 0,25 až 0,5 s.



Obr. 2.10 Vypínací plán nezávislých nadproudových ochran [4]

Z obr. 2.10 je patrné, že pokud vznikne zkrat v místě bodu „a“, tak se rozbíhá při vhodném proudovém nastavení současně ochrana R_2 a R_3 . Ochrana R_2 provádí vypnutí, protože se nachází nejbližže ke zkratu v čase t_2 , pokud dojde u této ochrany k selhání, tak musí zareagovat ochrana R_3 v delším čase t_3 .

2.12.5.1 Nastavování nadproudových nezávislých ochran

1) Stanovení stupně Δt časové selektivity

Při návrhu časového odstupňování ochran se určí stupeň časové selektivity rozdílem časového zpoždění ochran dvou sousedních úseků.

$$\Delta t = t_n - t_{(n-1)} \quad (2.36)$$

Pozn. Stupeň časové selektivity Δt musí být takový, aby zkrat na předchozím úseku ($n - 1$) byl odpojen dříve, než zareaguje ochrana následujícího n -tého úseku (směrem ke zdroji). Velikost stupně časové selektivity Δt se stanoví:

- Dobou vypnutí vypínačů předcházejícího úseku.
- Absolutními chybami časových členů ochran předcházejícího a následujícího úseku.
- Záložním bezpečnostním časem (volí se přibližně 0,1 s).

2) Nastavení rozběhového proudu

Musí platit, že rozběhový proud I_r bude mít větší velikost než největší dovolené zatížení vedení:

$$I_r \geq \frac{k_b \cdot I_n}{k_p \cdot p_i} \quad (2.37)$$

kde: I_n je největší dovolené zatížení vodičů vedení.

k_p je přídržný poměr relé (jeho velikost se pohybuje v rozmezí 0,85-0,95).

k_b je koeficient bezpečnosti (volí se v rozmezí 1,1 až 1,35).

p_i je jmenovitý převod jisticích transformátorů proudu.

Následně velikost rozběhového proudu I_r nadproudového relé musí být menší než nejmenší očekávaný zkratový proud na konci chráněného úseku pro omezený provozní stav zapojení sítě. Musí být splněna podmínka, aby relé při nejmenším zkratovém proudu na konci jištěného úseku spolehlivě nabíhalo:

$$I_r < \frac{I_{kmin}}{k_c \cdot p_i} \quad (2.38)$$

kde: I_{kmin} je nejmenší zkratový proud na konci chráněného úseku.

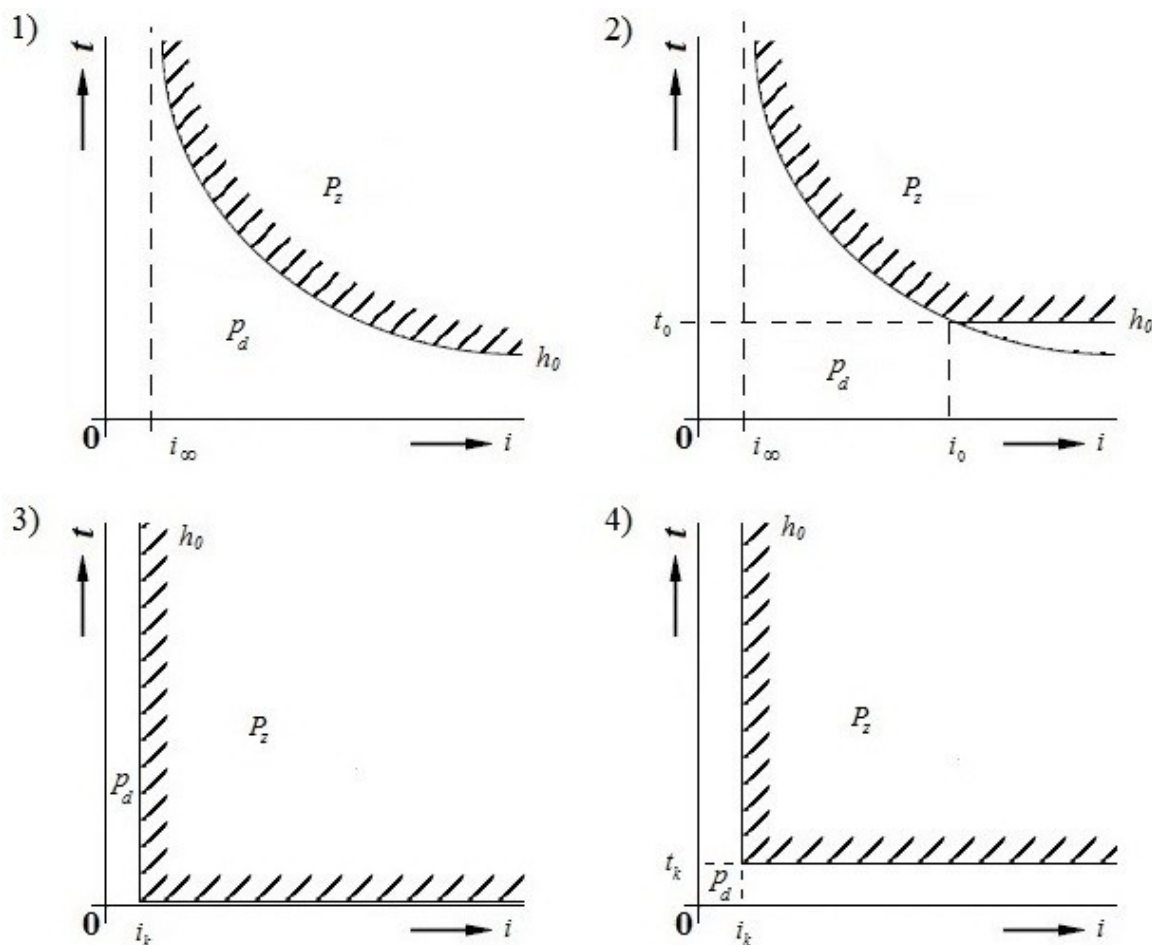
k_c je koeficient velikosti nadproudových ochran (pro elektromechanické ochrany se volí nejméně 1,5 a pro digitální ochrany se volí 1,2).

3) Koordinace proudového nastavení ochran v úsecích řazených za sebou

Musí platit podmínka, že ochrana, která se vyskytuje blíže ke zdroji, nesmí být citlivější než ochrany vzdálenějších úseků. Je důležité, aby nastavení vyhovovalo podmínce (za předpokladu, že síť má pouze jeden zdroj):

$$I_{rn} = (1,1 - 1,3) \cdot I_{r(n-1)} \quad (2.39)$$

kde I_{rn} , $I_{r(n-1)}$ je proudové nastavení v úseku n a $(n - 1)$.



Obr. 2.11 Charakteristika nadproudových ochran [2]:

Závislá, 2) Polozávislá, 3) Mžiková, 4) Nezávislá

Pozn.: P_z – Zakázané pásmo; P_d – Dovolené pásmo

2.12.6 Směrová nadproudová ochrana

Tato ochrana se používá v sítích, kde místo zkratu může být napájeno ze dvou míst. V případě použití nadproudových ochran bez směrových článků by mohlo docházet k neselektivnímu vypínání. Směrová nadproudová ochrana je tedy vybavena směrovým článkem (tento článek je tvořen elektrodynamickým nebo indukčním relé), který působí a uvolňuje vypnutí, je-li tok zkratového proudu v definovaném směru. Vhodným časovým zpožděním se dosáhne správného vypnutí poruchy.

2.12.7 Podpět'ové odblokování nadproudových ochran

Blokováním podpět'ovou ochranou se docílí zvětšení selektivity u nadproudových nezávislých ochran. Princip je založený na tom, že nadproudová ochrana vypíná tehdy, dojde-li k poklesu napětí v místě jejího připojení pod nastavenou velikost. Pokles napětí je závislý na vzdálenosti místa poruchy. Nadproudové nezávislé ochrany s odblokováním na podpětí se používají na silně zatížená krátká vedení, jelikož u dlouhých vedení, které jsou napájeny z velkých zdrojů, je citlivost podpět'ových relé nedostatečná. Blokování podpětím se v široké míře používá pro zapínání vedení vn, hlavně u kabelových.

2.12.8 Distanční (impedanční) ochrana

Distanční ochrany měří napětí a proud v místě připojení ochrany a z nich vyhodnocují impedanci. Ochrana začne působit, pokud je změřená impedance menší než nastavená. Její charakteristika umožňuje zálohovat sousední úseky, v základním úseku působí mžikově, zatímco v sousedních úsecích působí s časovým zpožděním. Výhoda těchto ochran spočívá v tom, že jsou schopny se zálohovat, aniž by došlo k prodlužování vypínací doby při zkratech blížících se ke zdroji. Naopak nevýhodou je nutnost nastavit první rychlý impedanční stupeň nejvýše do 90 % délky vedení. Při zkratu musí platit vztah:

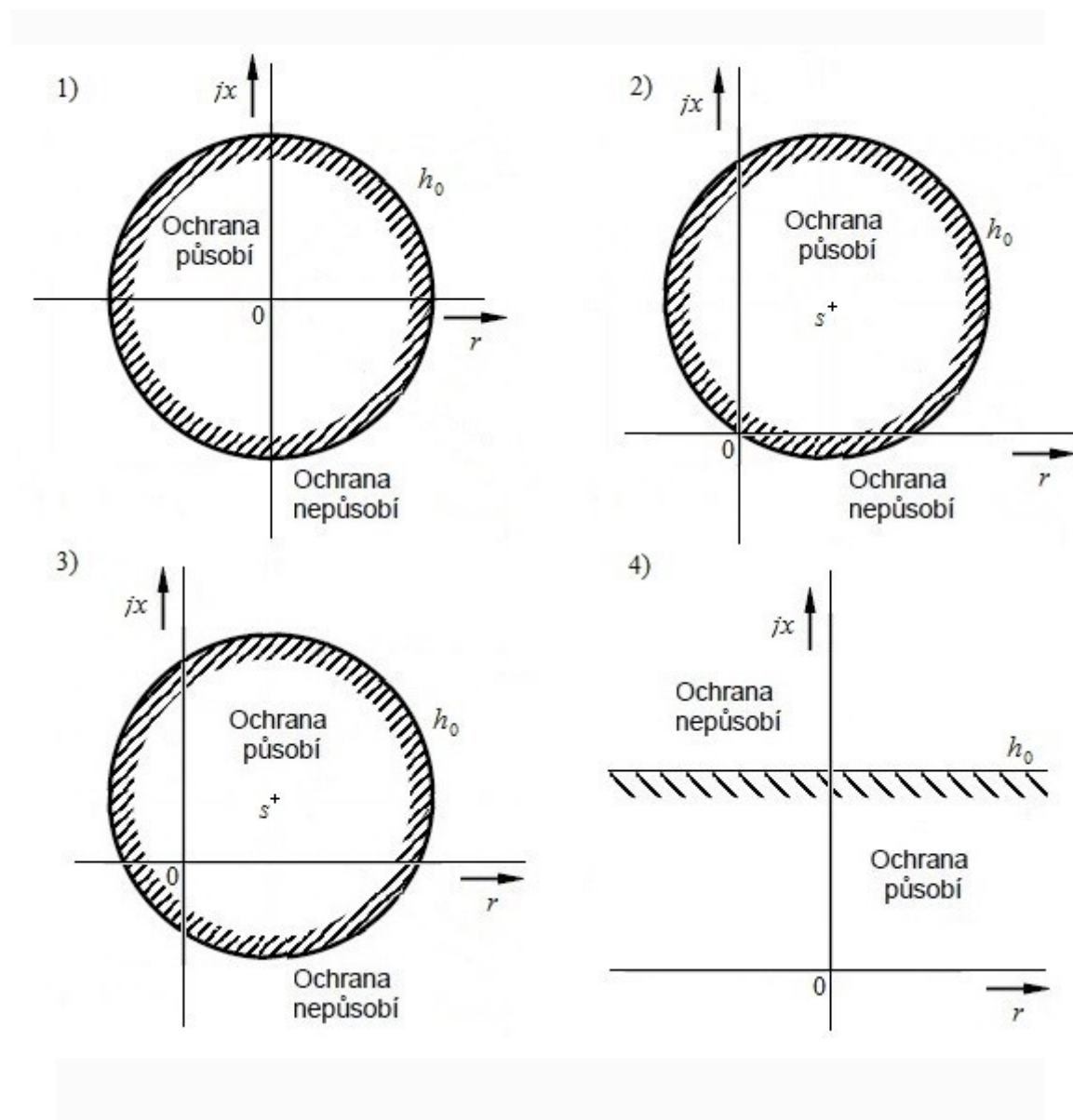
$$u_k = z \cdot i_k \quad (2.40)$$

Veličiny u_k a i_k stanoví impedanci zkratové smyčky a tím i vzdálenost poruchy na vedení.

Distanční ochrana se skládá z těchto členů:

- Popudový člen, jehož úkol je zjistit, jestli vznikl zkrat (popudový člen může být např. nadproudový).
- Měřicí člen, který zjišťuje velikost impedance Z .
- Směrový člen, který vyhodnotí, zda místo zkratu leží ve směru působnosti ochrany.
- Časový člen, který provádí rychlé nebo časově zpožděné vypnutí na základě porovnání změřené a nastavené impedance.

Základní funkcí měřicího členu je vyhodnotit impedanci z naměřených hodnot napětí a proudu. V případě, pokud impedance klesne pod nastavenou hodnotu, měřicí člen dává popud k vypnutí. Měřicí členy je možné realizovat amplitudovým nebo fázovým komparátorem. Mezi nejčastěji používané charakteristiky měřicích členů elektromechanických distančních ochran patří:



Obr. 2.12 Charakteristika distančních ochran [2]:
 Impedanční, 2) „mho“, 3) „offset mho“, 4) Reaktanční

2.12.9 Srovnávací ochrana

Tato ochrana porovnává fázi vstupního a výstupního proudu chráněného objektu. Z jejich rozdílu ochrana vyhodnotí, jestli je porucha uvnitř chráněného objektu nebo se nachází mimo chráněný objekt. Výhoda ochrany spočívá v rychlém působení a současně vypíná na obou koncích chráněného objektu. Rozlišujeme:

- **Ochrany s přímým srovnáním**, které porovnávají skutečné veličiny na obou koncích chráněného objektu (porovnávají např. výkony, fázový proud, fázový posun mezi proudy atd.).
- **Ochrany s nepřímým srovnáním**, které srovnávají údaje o poloze měřicích relé na obou stranách chráněného úseku. Spojovací vedení mezi oběma konci přenáší logické signály 1 nebo 0 a tím se podstatně snižují nároky kladené na spojovací vedení.

Srovnávací ochrany s přímým porovnáním se rozlišují na:

- Rozdílové (diferenciální) ochrany, které porovnávají rozdíl fázorů proudů na obou koncích chráněného objektu.
- Fázové srovnávací ochrany, tyto ochrany srovnávají fázový posun mezi proudy na obou koncích chráněného objektu.

2.12.10 Rozdílová ochrana

Diferenciální (rozdílové) ochrany vyhodnocují poruchu podle rozdílu fázorů proudů na vstupech a výstupech chráněného objektu. V normálním provozním stavu platí:

$$\Delta I = \left| \sum_{j=1}^k \bar{I}_j \right| = 0 \quad (2.41)$$

Jedná se vlastně o první Kirchhoffův zákon, kde ΔI je rozdílový proud získaný součtem všech porovnávaných proudů ze vstupů a výstupu chráněného objektu. Pokud vznikne porucha, tak je rozdílový proud $\Delta I > 0$ a ochrana musí zareagovat vypnutím.

Diferenciální ochrany lze dělit na:

- 1) Ochranu příčnou
- 2) Ochranu podélnou

2.12.10.1 Příčná rozdílová ochrana

Příčná ochrana srovnává proudy dvou shodných chráněných objektů, které pracují paralelně při stejných podmínkách. Nevýhoda u těchto ochran je, že při zareagování ochrany dojde k vypnutí obou chráněných objektů. Jedná se např. o paralelní vedení, paralelní větve statorového vinutí synchronního generátoru apod.

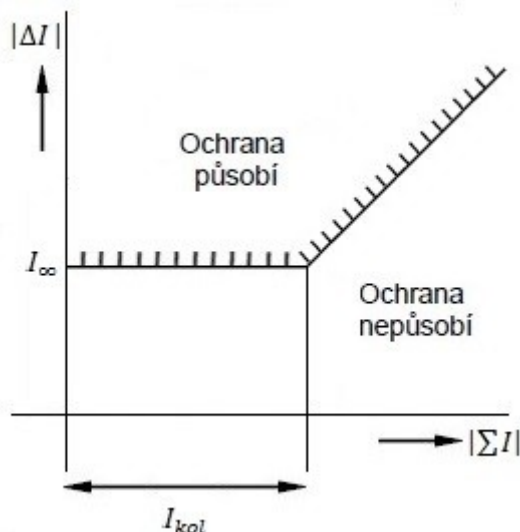
2.12.10.2 Podélná rozdílová ochrana

Podélná ochrana porovnává proudy na začátku a na konci chráněného objektu. Úsek, který chrání je vyhrazen jistíci transformátory proudů. V normálním provozním stavu jsou primární proudy I_a , I_b stejné (pokud jsou zanedbány proudy v příčných admitancích). To stejné platí i s proudy sekundárními, jestliže jsou správně zvoleny převody JTP. Při poruše se obrací směr proudu I_b uvnitř chráněného objektu. Měřicím článkem, kterým protéká rozdílový proud, způsobí vypnutí vypínačů na obou koncích chráněného objektu. Měřicí člen je proudový, s velkou citlivostí a s nízkou impedancí.

Používají se tři základní typy rozdílových ochran:

- 1) Ochrana maloimpedanční
- 2) Ochrana velkoimpedanční
- 3) Ochrana s napětovým porovnáním

Rozdílová ochrana nesmí působit chybně při zkratech mimo chráněný objekt a proto je nutno splnit podmínku, která popisuje, že proudy sekundárního vinutí jističích transformátorů proudů jsou při bezporuchovém chodu chráněného objektu na obou koncích stejné ve fázi a v amplitudě. Rozdílová ochrana obsahuje pracovní a kompenzační vinutí. Kompenzační proud blokuje možnost sepnutí ochrany v normálním provozním stavu.



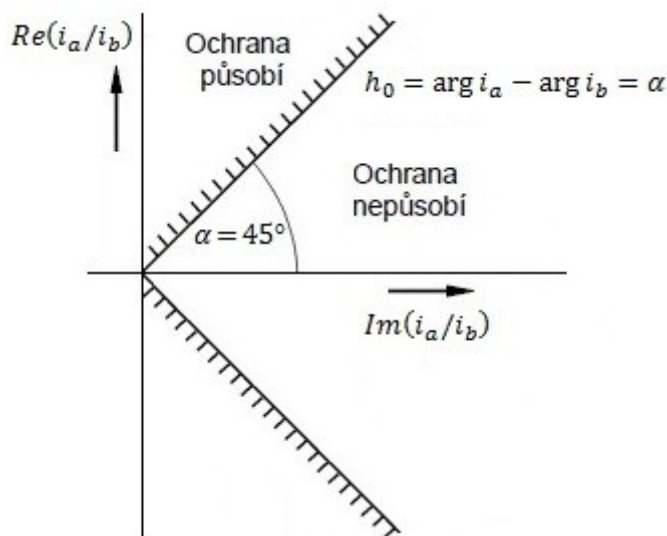
Obr. 2.13 Charakteristika rozdílové ochrany [4]

kde: I_{∞} je trvale dovolený rozdílový proud nepůsobící sepnutí ochrany

I_{kol} je proud kolena – zlomu charakteristiky

2.12.11 Fázová srovnávací ochrana

Ochrana porovnává fázi proudu na začátku a na konci chráněného objektu. V bezporuchovém stavu v důsledku příčných admitancí (magnetizační větve transformátoru, svod a kapacita vedení) existuje vždy fázový posun mezi proudy na začátku a konci chráněného objektu. Platí, že při vnitřním zkratu se směr jednoho proudu obrací a proto rozdíl fází se mění skokem. Ochrana reaguje tehdy, je-li rozdíl fází proudů $|\Delta\varphi| > \alpha$ (α je nastavená citlivost ochrany). Fázová srovnávací ochrana se používá pro krátká vedení. [2] [4] [5] [6]



Obr. 2.14 Charakteristika fázové srovnávací ochrany [4]

2.12.12 Ochrany při zemním spojení

V tomto případě se chráněný objekt chrání hlavně proti přetížením a zkratům. V sítích s kompenzovaným nebo s izolovaným uzlem není jednofázová porucha zkratem, ale zemním spojením, které se nemusí vypínat, ovšem je nutné poruchu signalizovat nebo hlásit. Většina sítí vn se provozuje s kompenzační tlumivkou a paralelním odporníkem.

Nekompenzovaná síť

U této sítě se neuzemněné systémy spojují se zemí přes kapacity jednotlivých fází vůči zemi. Nejčastěji pro detekci zemního spojení se používají jalové ochrany, které měří netočivou složku napětí a proudu. Samozhášení oblouku zemních poruch lze pouze využít pro malé hodnoty poruchových proudů.

Kompenzovaná síť

V tomto případě jsou kompenzované systémy uzemněny přes tlumivku s proměnnou impedancí, která kompenzuje kapacitu fáze-zem celého systému. Samozhášení oblouku je zajištěno pomocí rezonančního uzemnění na vedeních až v 80 % poruch.

Nízkoimpedančně uzemněná síť

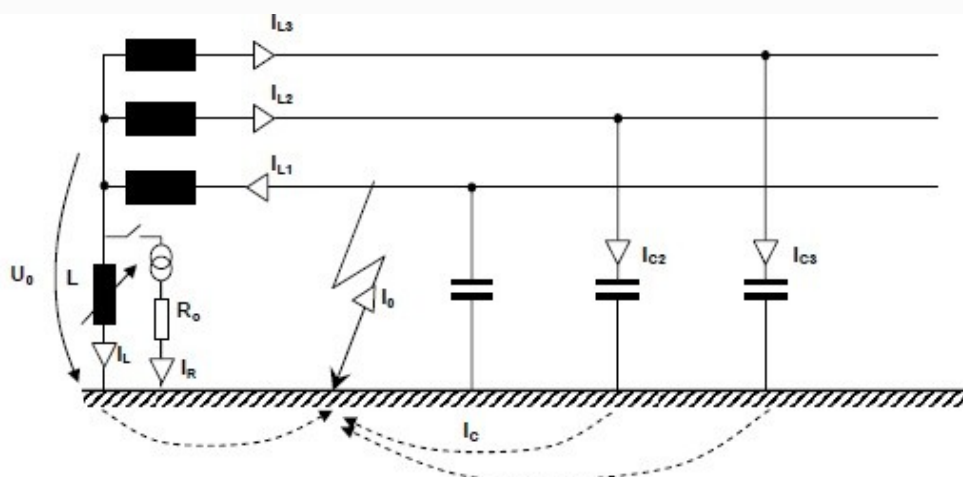
Tento systém je uzemněn přes rezistor nebo reaktor s nízkou impedancí, jejichž úkolem je zajistit omezení zemního poruchového proudu. Princip chránění je totožný jako v sítích s přímo uzemněným uzlem. Uplatňují se nadproudové ochrany na netočivou složku proudu.

Metody používané pro detekci zemního spojení

- Wattmetrická metoda, ochrana začne reagovat na činnou složku netočivé složky proudu vztáženou na netočivou složku napětí.
- Konduktanční metoda, u této metody se provádí měření netočivé složky konduktance vedení.
- Přírůstková metoda, používá se v dálkových prvcích (např. autoreclosery). U této metody se měří přírůstek proudu po připnutí paralelního odporníku k tlumivce.

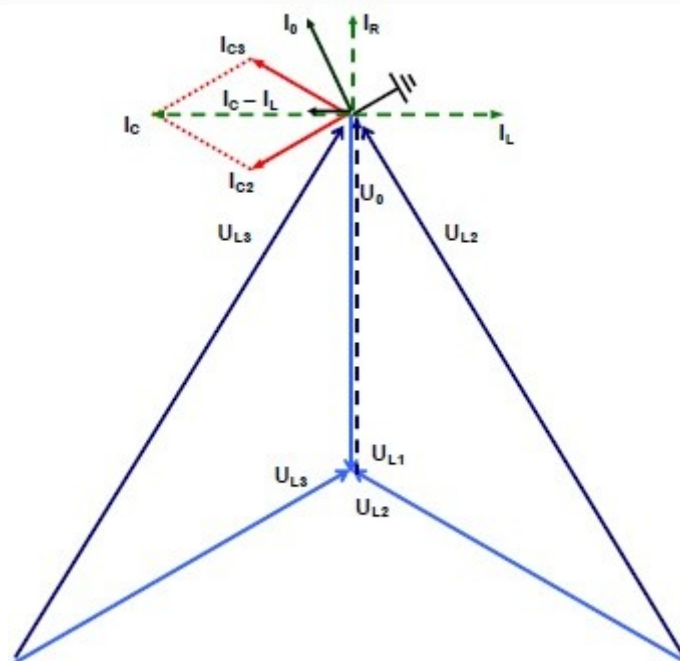
Je nutné a výhodné pro vyjmenované metody připínat k tlumivce paralelní odporník, který zvýší činnou složku proudu a tím zajistí lepší poměry pro měření.

Napětíové a proudové poměry v kompenzované síti 22 kV



Obr. 2.15 Zjednodušené schéma vedení se zemní poruchou [7]

V případě zemního spojení tlumivka kompenzuje kapacitní proudy sítě a následně poruchovým místem teče pouze malý zbytkový proud I_0 , který nemusí být v takové míře dostatečný, aby zapříčinil náběh zemní ochrany. Z tohoto důvodu se na krátkou dobu připíná k tlumivce paralelní odporník, který do obvodu vnutí činný proud, tekoucí pouze postiženou fází a zároveň způsobí natočení zbytkového proudu a tím dojde ke zmenšení úhlu mezi U_0 a I_0 . [7]



Obr. 2.16 Napětíové a proudové poměry při zemním spojení [7]

Zjednodušené schéma zemní poruchy

Schéma zemní poruchy je možno nahradit Théveninovým zdrojem pro výpočet zbytkového napětí U_0 . [7]

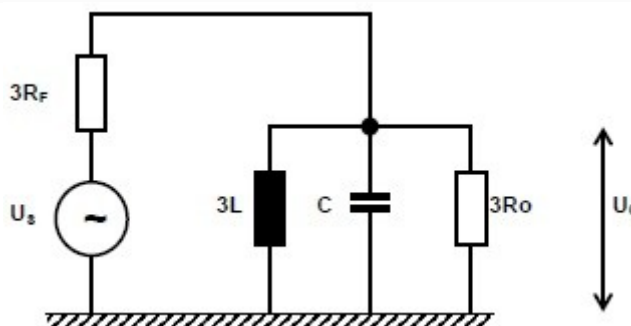
kde: $3R_0$ je paralelní odporník.

$3L$ je kompenzační tlumivka.

$3R_F$ je odpor poruchy.

C je kapacita sítě.

Je možno zanedbat sousledné a nulové složky impedance vedení vzhledem k velikosti odporu odporníku, přepočteného na primární stranu a možného odporu poruchy. Pro zjednodušení je zanedbána i nesymetrie.

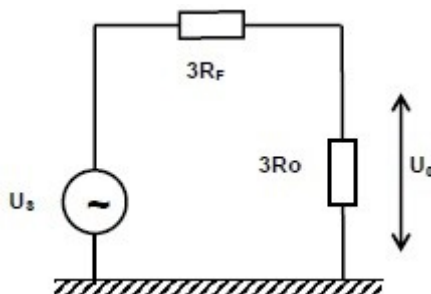


Obr. 2.17 Náhradní schéma dle Théveninovy metody pro zemní poruchu [7]

Výpočet zbytkového napětí U_0 při zemním spojení:

$$U_0 = U_s \cdot \frac{Z}{3R_F + Z} \rightarrow U_0 = \frac{U_s}{1 + \frac{R_F}{R_0} + j3R_F \cdot \left(\omega C - \frac{1}{3\omega L}\right)} \quad (2.42)$$

Schéma i vzorec lze následně zjednodušit při úvaze, že síť je plně vykompenzovaná, tedy $3L = C$.



Obr. 2.18 Náhradní schéma zapojení pro zemní poruchu při plné kompenzaci sítě [7]

Vytvoří se jednoduchý napěťový dělič, kde:

$$U_0 = U_s \cdot \frac{3R_0}{3R_F + 3R_0} \quad (2.43)$$

Pro zbytkový proud I_0 při jednopólové poruše platí:

$$I_0 = \frac{\sqrt{3} \cdot U_s}{3R_F + 3R_0} = \frac{U_s}{\sqrt{3} \cdot (R_F + R_0)} \quad (2.44)$$

3. Metodika výpočtu zkratových proudů dle ČSN EN 60909-0

Pomocí ČSN EN 60909-0 lze počítat zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách. Norma platí pro soustavy:

- Nízkého napětí 50 V - 1000 V
- Vysokého napětí 1000 V – 52 kV
- Velmi vysokého napětí 52 kV – 300 kV
- Zvláště vysokého napětí 300 kV – 550 kV

Při jmenovitém kmitočtu 50 Hz nebo 60 Hz. [3,4]

3.1 Předpoklady výpočtu

Pro snadnější výpočet maximálních a minimálních zkratových proudů se vychází z následujících zjednodušení:

- a) Po dobu trvání zkratového proudu se nemění typ zkratu, tj. trojfázový zkrat zůstává trojfázovým a zkrat mezi fází a zemí zůstává po celou dobu zkratu zkratem mezi fází a zemí.
- b) Po dobu zkratu nedochází k žádné změně v síti.
- c) Uvažují se impedance transformátorů pro přepínače odboček v základní poloze. To je přípustné, protože je zaveden korekční součinitel pro impedance K_T pro síťové transformátory.
- d) Odpory oblouku se neuvažují.
- e) Všechny kapacity vedení, a paralelní admitance a netočivé statické zátěže jsou zanedbány vyjma paralelních admitancí v netočivé soustavě.

Výpočty zaručují adekvátní přesnost výsledků, ovšem zmíněné předpoklady pro uvažované elektrické soustavy, nelze brát zcela přesně za odpovídající dané skutečnosti.

Při počítání zkratových proudů s rozdílnými hladinami napětí v soustavách, je potřeba přepočítat hodnoty impedancí z jedné napěťové hladiny na jinou, zpravidla na napěťovou hladinu, ve které se má určit zkratový proud. [3]

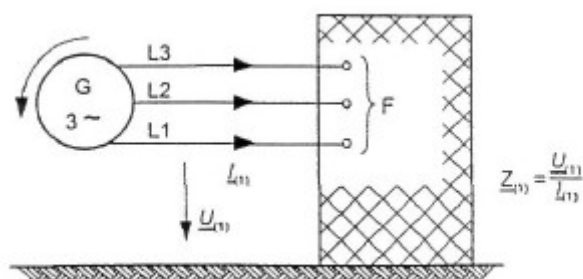
3.2 Metoda výpočtu

3.2.1 Použití souměrných složek

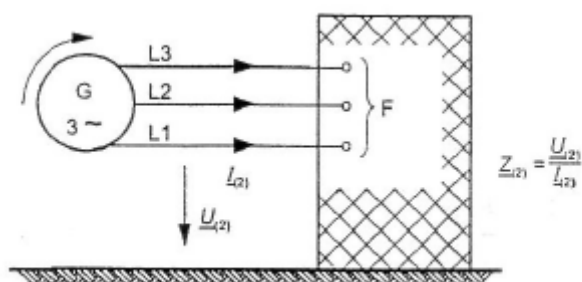
Zásadou použití souměrných složek se zjednoduší výpočet hodnot proudů v trojfázových střídavých soustavách při souměrných a nesouměrných zkratech. Předpokládá se, že elektrické zařízení má symetrickou strukturu, například v případě transponovaných venkovních vedení. U netransponovaných venkovních vedení mají výsledky výpočtu zkratových proudů dostatečnou přesnost.

U této metody se vyskytují tři složkové soustavy:

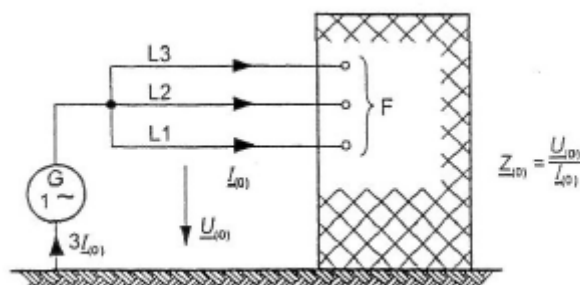
- 1) Sousedná složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(1)}$
 - 2) Zpětná složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(2)}$
 - 3) Netočivá složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(0)}$
- 1) Sousednou zkratovou impedanci $\underline{Z}_{(1)}$ v místě zkratu F určíme podle obrázku, když souměrnou soustavu napětí sousledné složky v odpovídajícím pořadí fází (kladném) přiložíme do místa zkratu F , všechny synchronní a asynchronní stroje jsou nahrazeny jejich vnitřními impedancemi.
 - 2) Zpětnou zkratovou impedanci $\underline{Z}_{(2)}$ v místě zkratu F určíme podle obrázku, když souměrnou soustavu napětí zpětné složky v odpovídajícím pořadí fází (záporném) přiložíme do místa zkratu F .
 - 3) Netočivou zkratovou impedanci $\underline{Z}_{(0)}$ v místě zkratu F určíme podle obrázku, když přiložíme střídavé napětí mezi třemi zkratovými fázemi a společným zpětným vedením (např. nulovým vodičem, zemnicí soustavou nebo stíněním kabelu a pláštěm kabelu).



Obr. 3.1 Sousedná složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(1)}$ [3]



Obr. 3.2 Zpětná složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(2)}$ [3]



Obr. 3.3 Netočivá složka zkratové impedance $\underline{Z}_{(0)}$ [3]

- Každá z těchto tří souměrných složek soustavy má svoji vlastní impedanci.
- Zmiňovaná norma pojednává o nesouměrných zkratech (dvoufázový zkrat, dvoufázový zemní zkrat a jednofázový zkrat).
- Pro účely této normy je nutné rozlišovat mezi zkratovými impedancemi v místě zkratu F a zkratovými impedancemi každého elektrického zařízení.
- Hodnoty sousledných a zpětných impedancí se mohou navzájem lišit pouze v případě točivých strojů. Pokud se počítají elektricky vzdálené zkraty, je obecně dovoleno uvažovat $\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)}$.

3.2.2 Ekvivalentní napěťový zdroj v místě zkratu

Metoda použitá pro výpočet je založena na zavedení ekvivalentního napěťového zdroje v místě zkratu. Ekvivalentní napěťový zdroj je jediným aktivním napětím soustavy. Všechny síťové napáječe, asynchronní a synchronní stroje jsou nahrazovány svou vnitřní impedancí.

Provozní údaje o odběrech, poloze přepínače odboček transformátorů, buzení generátorů atd. nejsou důležité, odpadá nutnost provádět výpočty toků výkonů v různých stavech před zkratem. Ve všech případech se k určení zkratového proudu v místě F použije ekvivalentní napěťový zdroj.

3.3 Maximální zkratové proudy

Při výpočtu maximálních zkratových proudů je nutné zvolit následující podmínky:

- Pro výpočet maximálních zkratových proudů se musí použít napěťový součinitel c_{max} podle tabulky 3-1, pokud není určena příslušná národní norma.
- Vybrat konfiguraci soustavy a maximální příspěvky z elektráren a síťových napáječů tak, aby vedly k maximální hodnotě zkratového proudu v místě zkratu nebo pro přijaté dělení sítě pro omezení zkratového proudu.
- Pokud je použita ekvivalentní impedance \underline{Z}_Q jako reprezentující vnější síť, musí se použít minimální ekvivalentní zkratová impedance, která odpovídá maximálnímu příspěvku zkratových proudů od síťových napáječů.
- Motory musí být zahrnuty podle potřeby.
- Uvažují se rezistance R_L vedení (venkovních vedení a kabelů) při teplotě 20°C.

Poznámka: maximální zkratový proud se zjišťuje pro volbu, dimenzování a určení zkratové odolnosti elektrického přístroje.

3.4 Minimální zkratové proudy

Při výpočtu minimálních zkratových proudů je nutné zvolit následující podmínky:

- Pro výpočet minimálních zkratových proudů se musí použít napěťový součinitel c_{min} , podle tabulky 3-1.
- Vybrat konfiguraci soustavy a minimální příspěvky z elektráren a síťových napáječů tak, aby vedly k minimální hodnotě zkratového proudu v místě zkratu.
- Motory musí být zanedbány.
- Rezistance R_L vedení (venkovních vedení a kabelů, vodičů a středních vodičů) se musí uvažovat při nejvyšší teplotě.

$$R_L = [1 + \alpha(\theta_e - 20^\circ C)]R_{L20} \quad (3.1)$$

kde:

R_{L20} - je rezistance při teplotě $20^\circ C$

θ_e - teplota vodiče ve stupních Celsia na konci zkratu

Poznámka: minimální zkratový proud stanovuje nastavení ochran ve zkratovém obvodu.

Tab. 3-1 Napěťový součinitel c [3]

Jmenovité napětí U_n	Napěťový součinitel c pro výpočet	
	Maximálních zkratových proudů c_{max} ¹⁾	Minimálních zkratových proudů c_{min}
Nízké napětí 100 V až 1000 V	1,05 ³⁾ 1,10 ⁴⁾	0,95
Vysoké napětí >1 kV až 35 kV	1,10	1,00
Velmi vysoké napětí ²⁾ > 35 kV		

¹⁾ $c_{max} U_n$ nesmí překročit nejvyšší napětí U_m pro zařízení energetických soustav.

²⁾ Pokud není jmenovité napětí definováno potom $c_{max} U_n = U_m$ nebo $c_{min} U_n = 0,90 \cdot U_m$.

³⁾ Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí +6%, např. pro soustavy přecházející z 380 V na 400V.

⁴⁾ Pro soustavy nízkého napětí s tolerancí +10%

3.5 Zkratové impedance elektrických zařízení elektrizační soustavy

Sousledná a zpětná zkratová impedance soustavy jsou si rovny $\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)}$ u elektrických zařízení, které se dělí na transformátory, síťové napáječe, venkovního a kabelového vedení, reaktory, synchronní stroje atd.

Netočivá zkratová impedance $\underline{Z}_{(0)} = \underline{U}_{(0)}/\underline{I}_{(0)}$ se určuje ze střídavého napětí uvažovaného mezi třemi paralelními vodiči a společným zpětným vedením (např. zemnicím zařízením, nulovým vodičem atd.). Společným zpětným vedením protéká trojnásobek proudu netočivé složky.

Jestliže se zkratové proudy počítají pomocí ekvivalentního napět'ového zdroje v místě zkratu, tak impedance generátorů (G), síťových transformátorů (T) a elektrárenských bloků (S) se musí vynásobit impedancečními korekčními součiniteli K_G , K_T a K_{SO} . [3]

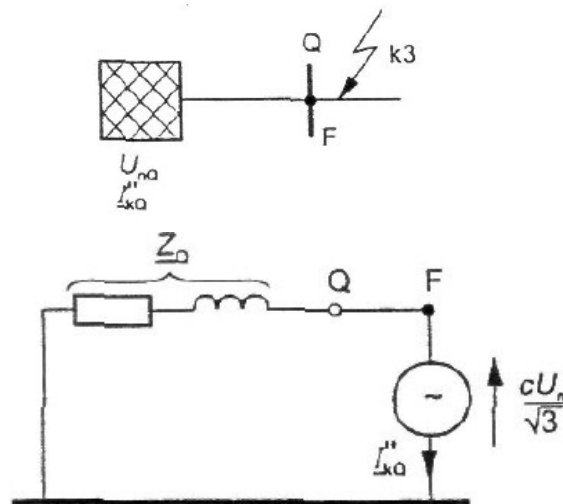
3.5.1 Síťové napáječe

Jestliže je trojfázový zkrat podle obrázku 3-4 napájen přímo ze sítě, kde je znám pouze I''_{kQ} , pak ekvivalentní impedance sítě Z_Q (sousledná zkratová impedance) v bodě připojení napáječe Q se určuje:

$$Z_Q = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I''_{kQ}} \quad (3.2)$$

V případě je-li znám R_Q/X_Q , pak X_Q bude ve tvaru:

$$X_Q = \frac{Z_Q}{\sqrt{1 + (R_Q/X_Q)^2}} \quad (3.3)$$



Obr. 3.4 Schéma soustavy a ekvivalentní náhradní schéma pro síťového napáječe bez transformátoru [3]

Pokud je zkrat v souladu s obrázkem 3-5 napájen transformátorem ze sítě vysokého napětí, velmi vysokého napětí a zvláště vysokého napětí, u které je znám pouze I_{kQ}'' v bodě připojení Q, pak lze souslednou ekvivalentní zkratovou impedanci Z_{Qt} vztaženou ke straně transformátoru s nižším napětím stanovit ve tvaru:

$$Z_{Qt} = \frac{c \cdot U_{nQ}}{\sqrt{3} \cdot I_{kQ}''} \cdot \frac{1}{t_r^2} \quad (3.4)$$

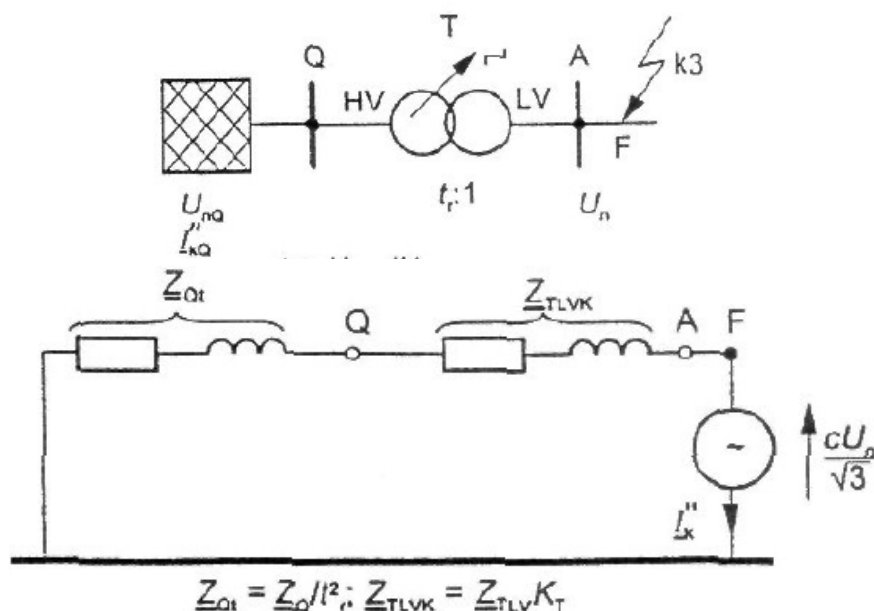
kde

I_{kQ}'' je počáteční souměrný rázový zkratový proud v bodě připojení napáječe Q;

U_{nQ} jmenovité napětí soustavy v bodě připojení napáječe Q;

c napěťový součinitel pro napětí U_{nQ} ;

t_r jmenovitý převod transformátoru, při kterém se přepínač odboček nachází v základní poloze.



Obr. 3.5 Schéma soustavy a ekvivalentní náhradní schéma pro síťového napáječe s transformátorem [3]

Ekvivalentní impedanci Z_Q lze považovat za reaktanci, tj. $Z_Q = 0 + jX_Q$ pro napáječe se jmenovitým napětím nad 35 kV napájených z venkovních vedení. V jiných situacích, jestliže není pro rezistance R_Q síťových napáječů známa žádná přesná hodnota, je možné dosadit $R_Q = 0,1 X_Q$ kde $X_Q = 0,995 Z_Q$.

Provozovatel přenosové (distribuční) soustavy musí udat počáteční souměrné rázové zkratové proudy I_{kQmax}'' a I_{kQmin}'' na straně vyššího napětí transformátoru.

3.5.2 Transformátory

3.5.2.1 Dvouvinutové transformátory

V případě dvouvinutových transformátorů s odbočkami regulovatelnými při zatížení nebo bez nich lze vypočítat sousledné zkratové impedance $\underline{Z}_T = R_T + jX_T$ ze jmenovitých údajů transformátoru následovně:

$$Z_T = \frac{u_{kr}}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} \quad (3.5)$$

$$R_T = \frac{u_{Rr}}{100\%} \cdot \frac{U_{rT}^2}{S_{rT}} = \frac{P_{krT}}{3I_{rT}^2} \quad (3.6)$$

$$X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} \quad (3.7)$$

kde:

U_{rT} je jmenovité napětí transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí;

I_{rT} jmenovitý proud transformátoru na straně vyššího nebo nižšího napětí;

S_{rT} jmenovitý zdánlivý výkon transformátoru;

P_{krT} jmenovité ztráty nakrátko transformátoru;

u_{kr} jmenovité napětí nakrátko v procentech;

u_{Rr} činná složka jmenovitého napětí nakrátko transformátoru v procentech.

Činnou složku u_{Rr} lze vypočítat ze ztrát nakrátko P_{krT} ve vinutí při jmenovitém proudu I_{rT} .

Poměr R_T/X_T se zpravidla zvětšuje s velikostí transformátoru. Konkrétně u velkých transformátorů je odpor velmi malý, že je možné při výpočtu velikost zkratového proudu předpokládat, že impedanci představuje pouze reaktance. Při výpočtu nárazového zkratového proudu i_p nebo stejnosměrné složky $i_{d.c.}$ je nezbytné uvažovat s odporem. Potřebné údaje pro výpočet lze najít na štítku.

Transformátor spojující dvě nebo více sítí s rozdílným napětím se nazývá síťový transformátor. V případě dvouvinutových transformátorů se musí zavést korekční součinitel K_T : $\underline{Z}_{TK} = K_T \underline{Z}_T$ kde $\underline{Z}_T = R_T + jX_T$.

$$K_T = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_T} \quad (3.8)$$

kde x_T je poměrná reaktance transformátoru

$$x_T = X_T / (U_{rT}^2 / S_{rT}) \quad (3.9)$$

3.5.2.2 Trojvinut'ové transformátory

Sousledné zkratové impedance \underline{Z}_A , \underline{Z}_B a \underline{Z}_C trojvinut'ových transformátorů lze vypočítat podle obrázku 3-6 pomocí tří zkratových impedancí (vztažených na stranu A transformátoru):

$$\underline{Z}_{AB} = \left(\frac{u_{RrAB}}{100\%} + j \frac{u_{XrAB}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAB}} \quad (\text{strana C rozpojena}) \quad (3.10)$$

$$\underline{Z}_{AC} = \left(\frac{u_{RrAC}}{100\%} + j \frac{u_{XrAC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTAC}} \quad (\text{strana B rozpojena}) \quad (3.11)$$

$$\underline{Z}_{BC} = \left(\frac{u_{RrBC}}{100\%} + j \frac{u_{XrBC}}{100\%} \right) \cdot \frac{U_{rTA}^2}{S_{rTBC}} \quad (\text{strana A rozpojena}) \quad (3.12)$$

$$u_{Xr} = \sqrt{u_{kr}^2 - u_{Rr}^2} \quad (3.13)$$

pomocí vzorců:

$$\underline{Z}_A = \frac{1}{2} (\underline{Z}_{AB} + \underline{Z}_{AC} - \underline{Z}_{BC}) \quad (3.14)$$

$$\underline{Z}_B = \frac{1}{2} (\underline{Z}_{BC} + \underline{Z}_{AB} - \underline{Z}_{AC}) \quad (3.15)$$

$$\underline{Z}_C = \frac{1}{2} (\underline{Z}_{AC} + \underline{Z}_{BC} - \underline{Z}_{AB}) \quad (3.16)$$

kde

U_{rTA} je jmenovité napětí na straně A;

S_{rTAB} jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A a B;

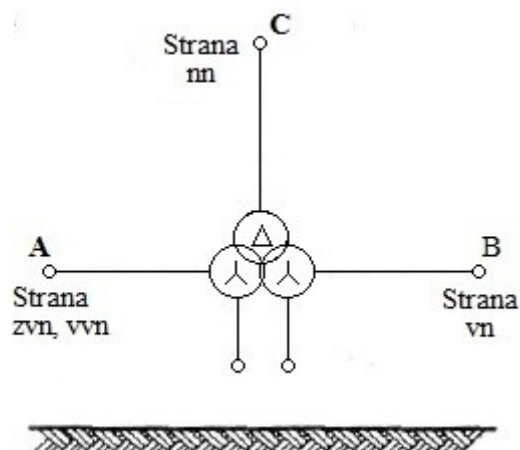
S_{rTAC} jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami A a C;

S_{rTBC} jmenovitý zdánlivý výkon mezi stranami B a C;

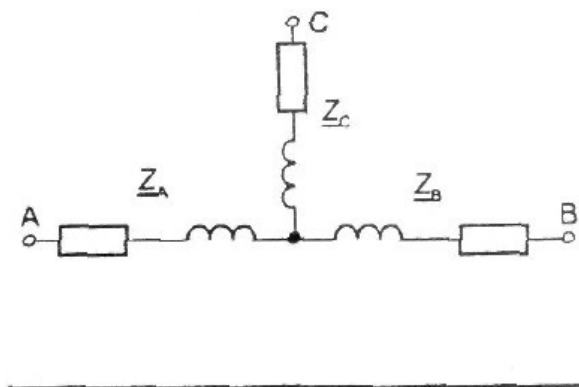
u_{RrAB}, u_{XrAB} jsou jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného v procentech mezi stranami A a B;

u_{RrAC}, u_{XrAC} jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného v procentech mezi stranami A a C;

u_{RrBC}, u_{XrBC} jmenovité činné a induktivní složky napětí nakrátko uvedeného v procentech mezi stranami B a C;



Obr. 3.6a Označení zapojení vinutí [3]



Obr. 3.6b Náhradní schéma (sousedné složkové soustavy) [3]

Obr. 3.6 Trojvinutový transformátor [3]

Netočivé impedance lze získat od výrobce v případě trojvinutových transformátorů

U trojvinutových transformátorů se tři impedanční korekční součinitelé určují použitím poměrných hodnot reaktancí transformátorů.

$$K_{TAB} = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_{TAB}} \quad (3.17)$$

$$K_{TAC} = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_{TAC}} \quad (3.18)$$

$$K_{TBC} = 0,95 \cdot \frac{c_{max}}{1 + 0,6 \cdot x_{TBC}} \quad (3.19)$$

Pro zpětnou a netočivou soustavu se použijí tři impedanční korekční součinitelé. V situaci impedance mezi uzlem a zemí se určí bez korekčního součinitele.

3.5.3 Venkovní vedení a kabely

Sousledná zkratová impedance $\underline{Z}_L = R_L + jX_L$ se vypočítá z parametrů vodiče, jako jsou průřezy a rozteče vodičů. Složky sousledných a netočivých impedancí lze určit měřením. Jednotlivé impedance R_L a X_L kabelů závisejí na pracovních postupech a normách jednotlivých států a mohou se vzít z údajů od výrobce nebo z příruček.

Ze jmenovitého průřezu q_n a rezistivity ρ lze vypočítat R'_L (činná rezistance na jednotku délky) venkovních vedení při teplotě vodiče 20°C:

$$R'_L = \frac{\rho}{q_n} \quad (3.20)$$

Pro rezistivitu platí:

$$\text{Měď} \quad \rho = \frac{1}{54} \left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$$

$$\text{Hliník} \quad \rho = \frac{1}{34} \left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$$

$$\text{Slitina hliníku} \quad \rho = \frac{1}{31} \left[\frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$$

X'_L (reaktance na jednotku délky) pro venkovní vedení lze vypočítat za předpokladu, že je provedena transpozice vedení ze vztahu:

$$X'_L = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot \frac{\mu_0}{2\pi} \left(\frac{1}{4 \cdot n} + \ln \frac{d}{r} \right) = f \cdot \mu_0 \left(\frac{1}{4 \cdot n} + \ln \frac{d}{r} \right) \quad (3.21)$$

kde:

d je $\sqrt[3]{d_{L1L2}d_{L2L3}d_{L3L1}}$ geometrická střední vzdálenost mezi vodiči či středem svazků;

r poloměr jednoduchého vodiče. V případě svazkových vodičů se za r dosadí $r_B = \sqrt[n]{nrR^{n-1}}$, kde R je poloměr svazku;

n počet vodičů ve svazku (u jednoduchého vodiče $n=1$);

$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$

3.5.4 Reaktory omezující zkratový proud

Jestliže je dodržena podmínka geometrické souměrnosti, tak složky sousledné, zpětné a netočivé zkratové impedance jsou stejné. Reaktory omezující zkratový proud se považují za součást zkratové impedance.

$$Z_R = \frac{u_{kR}}{100 \%} \cdot \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_{rR}} \quad \text{a} \quad R_R \ll X_R \quad (3.22)$$

kde:

u_{kR} a I_{rR} jsou uvedeny na štítku;

U_n je jmenovité napětí soustavy.

3.5.5 Synchronní stroje

3.5.5.1 Synchronní generátory

V soustavách napájených přímo z generátoru bez blokových transformátorů, například v průmyslových sítích nebo nízkonapěťových sítích při výpočtu počátečních souměrných rázových zkratových proudů je nutno použít v sousledné složkové soustavě následující impedanci:

$$\underline{Z}_{GK} = K_G \cdot \underline{Z}_G = K_G \cdot (R_G + jX_d'') \quad (3.23)$$

s korekčním součinitelem:

$$K_G = \frac{U_n}{U_{rG}} \cdot \frac{c_{max}}{1 + x_d'' \cdot \sin \varphi_{rG}} \quad (3.24)$$

kde:

c_{max} je napěťový součinitel (v souladu s tabulkou);

U_n jmenovité napětí soustavy;

U_{rG} jmenovité napětí generátoru;

\underline{Z}_{GK} korigovaná impedance generátoru;

\underline{Z}_G rázová impedance generátoru v sousledné soustavě: $\underline{Z}_G = R_G + jX_d''$;

φ_{rG} fázový úhel mezi \underline{I}_{rG} a $\underline{U}_{rG} / \sqrt{3}$;

x_d'' poměrná rázová reaktance generátoru vztažená ke jmenovité impedanci:

$$x_d'' = X_d'' / Z_{rG} \text{ kde } Z_{rG} = U_{rG}^2 / S_{rG}$$

Pro fiktivní rezistance R_{Gf} je možno použít následující hodnoty s přijatelnou přesností:

$$R_{Gf} = 0,05 \cdot X_d'' \text{ pro generátory s } U_{rG} > 1 \text{ kV a } S_{rG} \geq 100 \text{ MVA,}$$

$$R_{Gf} = 0,07 \cdot X_d'' \text{ pro generátory s } U_{rG} > 1 \text{ kV a } S_{rG} < 100 \text{ MVA,}$$

$$R_{Gf} = 0,15 \cdot X_d'' \text{ pro generátory s } U_{rG} \leq 1 \text{ 000 V}$$

Součinitelé 0,05, 0,07 a 0,15 respektují zanikání střídavé složky zkratového proudu v průběhu první půlperiody po výskytu zkratu. S vlivem různých teplot vinutí na R_{Gf} se neuvažuje.

Pro výpočet nárazového zkratového proudu se mohou použít hodnoty R_{Gf} . Při výpočtu aperiodické složky $i_{d.c.}$ zkratového proudu se zmíněné hodnoty nemohou použít, proto se musí aplikovat pro R_G hodnoty výrobce.

3.5.5.2 Synchronní kompenzátory a motory

V případě, jestliže se počítá počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k'' , nárazový zkratový proud i_p , souměrný zkratový vypínací proud I_b a ustálený zkratový proud I_k , tak synchronní kompenzátory jsou modelovány stejným způsobem jako synchronní generátory. Synchronní motory s napěťovou regulací se berou jako synchronní generátory. Pokud synchronní motory nemají napěťovou regulaci je nutno použít zvláštní postupy.

3.5.6 Asynchronní motory

Motory vysokého a nízkého napětí přispívají k počátečnímu souměrnému rázovému zkratovému proudu I_k'' , k nárazovému zkratovému proudu i_p , k souměrnému zkratovému vypínacímu proudu I_b a při nesouměrných zkratech rovněž k ustálenému zkratovému proudu I_k .

Do výpočtu maximálního zkratového proudu se musí zahrnout příspěvek motorů vysokého napětí. Příspěvek motorů nízkého napětí je nutno zahrnout do výpočtu ve vlastní spotřebě elektráren nebo v průmyslových a podobných rozvodech (např. v sítích chemického a ocelářského průmyslu).

Příspěvek asynchronních motorů v nízkonapěťové soustavě ke zkratovému proudu I_k'' je možno zanedbat, pokud zmíněný příspěvek není větší než 5 % počátečního zkratového proudu I_{kM}'' , vypočítaného bez příspěvku těchto motorů.

$$\sum I_{rM} \leq 0,01 \cdot I_{kM}'' \quad (3.25)$$

kde:

$\sum I_{rM}$ je součet jmenovitých proudů motorů připojených přímo (bez transformátorů) k síti s výskytem zkratu;

I_{kM}'' počáteční souměrný rázový zkratový proud bez vlivu motorů.

Při výpočtu zkratových proudů se mohou zanedbat motory vysokého a nízkého napětí, které s ohledem na schéma zapojení (blokování) nebo funkci nejsou zároveň v provozu.

Impedance $Z_M = R_M + jX_M$ asynchronních motorů lze stanovit v sousledné a zpětné složkové soustavě pomocí vztahu:

$$Z_M = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}}{\sqrt{3} \cdot I_{rM}} = \frac{1}{I_{LR}/I_{rM}} \cdot \frac{U_{rM}^2}{S_{rM}} \quad (3.26)$$

kde:

U_{rM} je jmenovité napětí motoru;

I_{rM} jmenovitý proud motoru;

S_{rM} jmenovitý zdánlivý příkon motoru ($S_{rM} = P_{rM} / (\eta_{rM} \cdot \cos \varphi_{rM})$);

I_{LR}/I_{rM} poměr záběrného proudu ke jmenovitému proudu motoru při zabrzděném motoru.

V případě, že je znám R_M/X_M , tak z toho X_M se vypočítá tímto způsobem:

$$X_M = \frac{Z_M}{\sqrt{1 + (R_M/X_M)^2}} \quad (3.27)$$

S přijatelnou přesností se mohou použít následující vztahy:

$R_M/X_M = 0,10$, s $X_M = 0,995 Z_M$ pro motory vysokého napětí o výkonu P_{rM} na dvojici pólů $\geq 1 \text{ MW}$;

$R_M/X_M = 0,15$, s $X_M = 0,989 Z_M$ pro motory vysokého napětí o výkonu P_{rM} na dvojici pólů $< 1 \text{ MW}$;

$R_M/X_M = 0,42$, s $X_M = 0,922 Z_M$ pro skupiny nízkonapěťových motorů včetně připojovacích kabelů.

Jestliže jsou potřebné netočivé impedance soustavy $Z_{(0)M}$ motorů, musí je udat výrobce.

Motory vysokého a nízkého napětí, které jsou připojeny přes dvouvinuťové transformátory k síti, kde v nich dochází ke zkratu, lze zanedbat při výpočtu proudů zkratu v místě připojení napáječe Q , v tom případě, že:

$$\frac{\sum P_{rM}}{\sum S_{rT}} \leq \frac{0,8}{\left| \frac{c \cdot 100 \cdot \sum S_{rT}}{\sqrt{3} \cdot U_{nQ} \cdot I_{kQ}''} - 0,3 \right|} \quad (3.28)$$

kde:

$\sum P_{rM}$ je součet jmenovitých činných výkonů uvažovaných motorů vysokého napětí a nízkého napětí;

$\sum S_{rT}$ součet jmenovitých zdánlivých výkonů všech transformátorů, přes které jsou přímo napájeny motory;

I_{kQ}'' počáteční souměrný rázový zkratový proud v místě připojení napáječe Q bez příspěvku motorů;

U_{nQ} jmenovité napětí soustavy v místě připojení napáječe Q .

3.6 Výpočet zkratových proudů

V případě vzdáleného zkratu se zkratový proud vypočítá sečtením následujících dvou složek:

- střídavé složky s konstantní amplitudou po celou dobu zkratu,
- stejnosměrné složky začínají na počáteční hodnotě A a klesajícím směrem k nule.

V případě blízkého zkratu se zkratový proud vypočítá sečtením následujících dvou složek:

- střídavé složky se zmenšující se amplitudou během zkratu,
- stejnosměrné složky začínající na počáteční hodnotě A a klesající směrem k nule.

Při výpočtu zkratových proudů v soustavách napájených generátory a motory (zkraty elektricky blízké generátoru nebo motoru) je nutno určit tyto parametry:

- počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k'' .
- nárazový zkratový proud i_p .
- souměrný zkratový vypínací proud I_b .
- ustálený zkratový proud I_k .

Je dovoleno uvažovat $\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)}$ pro výpočet počátečního rázového zkratového proudu.

Typ zkratu, který vede k největšímu zkratovému proudu, stanovují hodnoty sousledných, zpětných a netočivých zkratových impedancí soustavy.

3.6.1 Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k''

V častém případě je $\underline{Z}_{(0)}$ větší než $\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)}$, proto se vyskytne největší počáteční zkratový proud u trojfázového zkratu. V případě, kdy je zkrat blízko transformátoru s nízkou netočivou impedancí může být $\underline{Z}_{(0)}$ menší než $\underline{Z}_{(1)}$, z toho důvodu se nejvyšší počáteční zkratový proud I_{kE2E}'' vyskytne u dvoufázového zemního zkratu.

3.6.1.1 Trojfázový zkrat

Počáteční souměrný rázový zkratový proud I_k'' se vypočítá podle rovnice z napětí ekvivalentního napěťového zdroje $c \cdot U_n / \sqrt{3}$ v místě zkratu a zkratové impedance $\underline{Z}_k = R_k + jX_k$.

$$I_k'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_k^2 + X_k^2}} \quad (3.29)$$

Ekvivalentní zdroj napětí $c \cdot U_n / \sqrt{3}$ se zavádí v místě zkratu se součinitelem c (podle tabulky 3-1).

3.6.1.2 Dvoufázový zkrat

Počáteční rázový zkratový proud se vypočítá následujícím způsobem:

$$I_{k2}'' = \frac{c \cdot U_n}{|\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)}|} = \frac{c \cdot U_n}{2 \cdot |\underline{Z}_{(1)}|} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_k'' \quad (3.30)$$

Nezávisle na tom, zda jde o blízký zkrat nebo vzdálený zkrat je zpětná impedance přibližně rovna sousledné impedanci v počátečním období zkratu. V případě blízkého zkratu se může zkratová impedance $\underline{Z}_{(2)}$ lišit od $\underline{Z}_{(1)}$.

3.6.1.3 Dvoufázový zemní zkrat

Při výpočtu počátečního souměrného rázového zkratového proudu je důležité rozlišit proudy I_{k2EL2}'' , I_{k2EL3}'' a I_{kE2E}'' .

$\underline{Z}_{(2)}$ je přibližně rovno $\underline{Z}_{(1)}$ pro vzdálené zkraty. Jestli je $\underline{Z}_{(0)}$ menší než $\underline{Z}_{(2)}$, proud I_{kE2E}'' je největší ze všech počátečních souměrných rázových zkratových proudů I_k'' , I_{k2}'' , I_{k2E}'' a I_{k1}'' při mezifázovém zkratu se zemním spojením.

$$I_{k2EL2}'' = -j \cdot c \cdot U_n \cdot \frac{\underline{Z}_{(0)} - \underline{a} \cdot \underline{Z}_{(2)}}{\underline{Z}_{(1)} \cdot \underline{Z}_{(2)} + \underline{Z}_{(1)} \cdot \underline{Z}_{(0)} + \underline{Z}_{(2)} \cdot \underline{Z}_{(0)}} \quad (3.31)$$

$$I_{k2EL3}'' = j \cdot c \cdot U_n \cdot \frac{\underline{Z}_{(0)} - \underline{a}^2 \cdot \underline{Z}_{(2)}}{\underline{Z}_{(1)} \cdot \underline{Z}_{(2)} + \underline{Z}_{(1)} \cdot \underline{Z}_{(0)} + \underline{Z}_{(2)} \cdot \underline{Z}_{(0)}} \quad (3.32)$$

$$I_{kE2E}'' = -\frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n \cdot \underline{Z}_{(2)}}{\underline{Z}_{(1)} \cdot \underline{Z}_{(2)} + \underline{Z}_{(1)} \cdot \underline{Z}_{(0)} + \underline{Z}_{(2)} \cdot \underline{Z}_{(0)}} \quad (3.33)$$

Pro vzdálený zkrat s $\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)}$ dostaneme velikosti zkratových proudů:

$$I_{k2EL2}'' = c \cdot U_n \cdot \frac{|\underline{Z}_{(0)}/\underline{Z}_{(1)} - \underline{a}|}{|\underline{Z}_{(1)} + 2 \cdot \underline{Z}_{(0)}|} \quad (3.34)$$

$$I_{k2EL3}'' = c \cdot U_n \cdot \frac{|\underline{Z}_{(0)}/\underline{Z}_{(1)} - \underline{a}^2|}{|\underline{Z}_{(1)} + 2 \cdot \underline{Z}_{(0)}|} \quad (3.35)$$

$$I_{kE2E}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|\underline{Z}_{(1)} + 2 \cdot \underline{Z}_{(0)}|} \quad (3.36)$$

3.6.1.4 Jednofázový zkrat

Výpočet počátečního rázového zkratového proudu bude vypadat následovně:

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{\underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(2)} + \underline{Z}_{(0)}} \quad (3.37)$$

Pro vzdálený zkrat s $\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)}$ se absolutní hodnota vypočítá tímto způsobem:

$$I_{k1}'' = \frac{\sqrt{3} \cdot c \cdot U_n}{|2 \cdot \underline{Z}_{(1)} + \underline{Z}_{(0)}|} \quad (3.38)$$

V případě, že je $\underline{Z}_{(0)}$ menší než $\underline{Z}_{(2)} = \underline{Z}_{(1)}$ je počáteční rázový zkratový proud při jednofázovém zkratu I_{k1}'' větší než trojfázový zkratový proud I_k'' , ale menší než I_{kE2E}'' .

3.6.2 Nárazový zkratový proud i_p

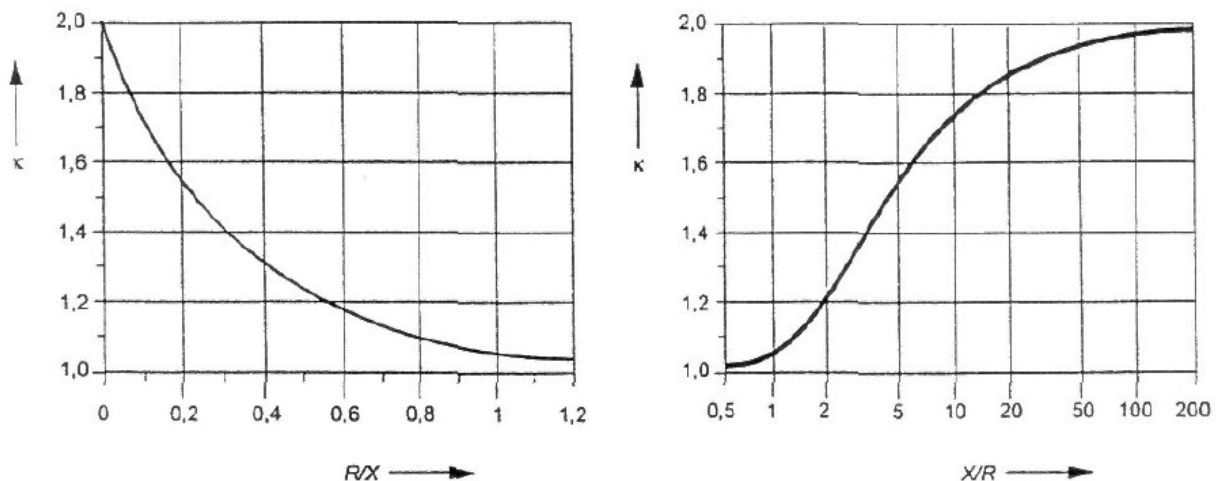
3.6.2.1 Trojfázový zkrat

U trojfázových zkratů se příspěvek nárazového zkratového proudu vypočítá:

$$i_p = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_k'' \quad (3.39)$$

Součinitel κ pro poměr R/X nebo X/R se stanoví z obr. 3-7 nebo lze ho vypočítat pomocí vztahu:

$$\kappa = 1,02 + 0,98 \cdot e^{-3 R/X} \quad (3.40)$$



Obr. 3.7 Součinitel κ pro sériové obvody jako funkce poměru R/X nebo X/R [3]

3.6.2.2 Dvoufázový zkrat

K výpočtu nárazového zkratového proudu lze použít vztah:

$$i_{p2} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2}'' \quad (3.41)$$

K úpravě lze využít stejné hodnoty κ jako tomu bylo pro trojfázový zkrat. V případě, jestli platí vztah $\underline{Z}_{(1)} = \underline{Z}_{(2)}$, tak při dvoufázovém zkratu je nárazový zkratový proud i_{p2} menší než trojfázový nárazový zkratový proud i_p :

$$i_{p2} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot i_p \quad (3.42)$$

3.6.2.3 Dvoufázový zemní zkrat

Nárazový zkratový proud pro dvoufázový zemní zkrat se vypočítá následovně:

$$i_{p2E} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k2E}'' \quad (3.43)$$

Opět k úpravě lze využít stejné hodnoty κ jako tomu bylo pro trojfázový zkrat. Pokud je $\underline{Z}_{(0)}$ o hodně menší než $\underline{Z}_{(1)}$ je nutné vypočítat i_{p2E} , v ostatních případech nemusíme počítat i_{p2E} .

3.6.2.4 Jednofázový zkrat

Nárazový zkratový proud pro výpočet bude mít tento tvar:

$$i_{p1} = \kappa \cdot \sqrt{2} \cdot I_{k1}'' \quad (3.44)$$

U jednofázového zkratu, lze také k úpravě využít stejné hodnoty κ jako tomu bylo pro trojfázový zkrat.

3.6.3 Stejnoseměrná složka zkratového proudu

Stejnoseměrnou složku $i_{d.c.}$ zkratového proudu je možno vypočítat s dostatečnou přesností následujícím způsobem:

$$i_{d.c.} = \sqrt{2} \cdot I_k'' \cdot e^{-2 \cdot \pi \cdot f \cdot t \cdot R/X} \quad (3.45)$$

kde

I_k'' je počáteční souměrný rázový zkratový proud;

f jmenovitý kmitočet;

t čas;

R/X poměr rezistance k reaktanci.

3.6.4 Souměrný vypínací zkratový proud I_b

Vypínací zkratový proud v místě zkratu je tvořen dvěmi hodnotami:

- symetrického zkratového proudu I_b .
- stejnosměrné složky zkratového proudu $i_{d.c.}$ v čase t_{min} podle rovnice 3.45.

3.6.4.1 Vzdálený zkrat

U vzdálených zkratů se zkratové souměrné vypínací proudy rovnají počátečním rázovým zkratovým proudům:

$$I_b = I_k'' \quad (3.46)$$

$$I_{b2} = I_{k2}'' \quad (3.47)$$

$$I_{b2E} = I_{k2E}'' \quad (3.48)$$

$$I_{b1} = I_{k1}'' \quad (3.49)$$

3.6.4.2 Blízký zkrat

V případě jednoduchého napájení zkratu se zmenšování souměrného zkratového vypínacího proudu zohledňuje za pomoci součinitele μ .

$$I_b = \mu \cdot I_k'' \quad (3.50)$$

Součinitel μ závisí na minimální době vypnutí t_{min} a poměru I_{kG}''/I_{rG} , jestliže tento poměr I_{kG}''/I_{rG} není větší než 2, platí že $\mu = 1$ pro všechny hodnoty minimální doby vypnutí t_{min} .

kde:

I_{rG} je jmenovitý proud generátoru.

Součinitel μ pro jednotlivé doby vypnutí:

$$\mu = 0,84 + 0,26 \cdot e^{-0,26 I_{kG}''/I_{rG}} \quad \text{pro } t_{min} = 0,02 \text{ s} \quad (3.51)$$

$$\mu = 0,71 + 0,51 \cdot e^{-0,30 I_{kG}''/I_{rG}} \quad \text{pro } t_{min} = 0,05 \text{ s} \quad (3.52)$$

$$\mu = 0,62 + 0,72 \cdot e^{-0,32 I_{kG}''/I_{rG}} \quad \text{pro } t_{min} = 0,10 \text{ s} \quad (3.53)$$

$$\mu = 0,56 + 0,94 \cdot e^{-0,38 I_{kG}''/I_{rG}} \quad \text{pro } t_{min} \geq 0,25 \text{ s} \quad (3.54)$$

3.6.4.3 Nesouměrné zkraty

U nesouměrných zkratových proudů se nebere v potaz pokles magnetického toku v generátoru a aplikují se tyto rovnice (3.47) až (3.49).

3.6.5 Ustálený zkratový proud I_k

Postup výpočtu ustáleného zkratového proudu I_k je méně přesný než při aplikování výpočtu počátečního rázového zkratového proudu I_k'' .

3.6.5.1 Maximální ustálený zkratový proud

Pro výpočet maximálního ustáleného zkratového proudu se počítá s maximálním buzením synchronního generátoru:

$$I_{kmax} = \lambda_{max} \cdot I_{rG} \quad (3.55)$$

Součinitel λ_{max} je přesněji popsán v ČSN EN 60909-0.

3.6.5.2 Minimální ustálený zkratový proud

Pro výpočet minimálního ustáleného zkratového proudu se počítá s konstantním buzením nezátíženého synchronního stroje:

$$I_{kmin} = \lambda_{min} \cdot I_{rG} \quad (3.56)$$

Součinitel λ_{min} je přesněji popsán v ČSN EN 60909-0.

3.6.6 Jouleův integrál a ekvivalentní oteplovací zkratový proud

Integrál $\int i^2 dt$ stanovuje energii, která se vytvoří v odporovém prvku soustavy průchodem zkratového proudu. V normě je vypočítaná energie za použití součinitele m pro časově závislý tepelný účinek stejnosměrné složky zkratového proudu a současně součinitele n pro časově závislý tepelný účinek střídavé složky zkratového proudu.

$$\int_0^{T_k} i^2 dt = i_k''^2 \cdot (m + n) \cdot T_k = I_{th}^2 \cdot T_k \quad (3.57)$$

Ekvivalentní oteplovací zkratový proud se vypočítá následujícím vztahem:

$$I_{th} = I_k'' \cdot \sqrt{m + n} \quad (3.58)$$

Jouleův integrál a ekvivalentní oteplovací zkratový proud se mají udávat s dobou trvání zkratu, se kterým jsou spojeny. V případě vzdálených zkratů se jmenovitou dobou trvání zkratu 0,5 s nebo větší je dovolené uvažovat s $m + n = 1$. Pro distribuční sítě (u elektrických vzdálených zkratů) se může použít $n = 1$.

4. Zhodnocení stávajícího stavu na rozvodně Fifejdy 110/22 kV

Spínací stanice R 22 kV Fifejdy je bezobslužná, umístěna na sídlišti Fifejdy na ulici Tomkova. Je napájena dvěma přírodními vedeními 22 kV vn 177 a vn 167 z rozvodny 110/22 kV OS_ETBE (Elektrárna Třebovice ve vlastnictví společnosti Dalkia ČR), OS_OVET (Teplárna ve vlastnictví společnosti Dalkia ČR). Rozvodna Fifejdy je určena k napájení kabelového rozvodu 22/0,4 kV sídliště Fifejdy a Centrum, dále odběru ČD (Českých drah), DPMO (Dopravního podniku města Ostrava) a nemocnice MÚNZ, následně napájí spínací stanici 22 kV Nová radnice a částečně se může navzájem zálohovat s rozvodnou R 22 kV Černá Louka. Provedením se jedná o dvoupodlažní zděnou budovu, kde v přízemí 1.NP nad zdvojenou podlahou (kabelovým prostorem -1.PP) je kobkový prostor, v němž je umístěna pomocná přípojnice s vývodovými odpojovači a odpojovači na pomocnou přípojnici včetně zemnicích nožů. V 2.NP jsou umístěny vlastní skříňové rozvaděče s výkonovými vypínači, odpojovači a měřením. [8]

4.1 Fifejdy – stavba nové R 110/22 kV

4.1.1 Zdůvodnění stavby

Důvodem nové výstavby transformačního uzlu 110/22 kV je nárůst odběru elektrické energie v centru Ostravy. Pro jednoduché začlenění do sítě vn bylo zvoleno doplnění transformace u stávající spínací stanice Fifejdy. S ohledem na technicky náročnější způsob realizace, v případě využití stávající R 22 kV, rozmístění a velikost jednotlivých místností stávající spínací stanice, stáří sekundární techniky a vlastní spotřeby bude vybudována nová budova společných provozů společně s R 22 kV navazující na vnitřní rozvodnu 110 kV se zapouzdřeným rozváděčem 110 kV. Technologie R 110 kV byla zvolena z důvodu nedostatku místa, v případě použití standardní technologie, a s přihlédnutím na začlenění nové R 110/22 kV Fifejdy do dané lokality. [9]

4.1.2 Popis stavby

V rámci stavby bude provedena výstavba nové rozvodny 110/22 kV Fifejdy. V souvislosti s vybudováním nového transformačního uzlu je potřeba provést přeložky vedení 22 kV bránící výstavbě a vybavit pole v R 110 kV Třebovice i v R 110 kV Teplárna Ostrava. Dále je nutné přepojení stávajícího kabelového vedení do nové rozvodny 22 kV. Nakonec se demontují stávající technologie a zařízení ve stávající spínací stanici Fifejdy.

4.1.3 Transformátory 110/22 kV

Rozvodna je vybavena transformátory T101 a T102. Primární napojení z průchodek transformátorů na venkovní koncovky je provedeno lany AlFe 750/43. Uzemnění primární nulové průchodky 110 kV je uskutečněno pásem Al 63/10 vedeným na sloupku ukotveném k protipožární stěně. Na sloupku je pás uchycen držáky na kompozitních podpěrných izolátorech. Uzemnění nuly 110 kV je v celé trase provedeno kontrolovatelně až do uzemňovací jímky. Po přechodu ven ze záchytné jímky je pás uložen v betonovém korýtku.

- Transformátor T101 je vyveden do pole AVA09 v rozvodně 22 kV.
- Transformátor T102 je vyveden do pole AVA28 v rozvodně 22 kV.

Třífázové olejové regulační transformátory se třemi vinutími mají trvalý výkon 50 MVA. Třetí vinutí 6,3 kV je kompenzační, vyvedené dvěma průchodkami pro měřicí účely. Sekundární strana transformátorů je do rozvodny 22 kV vyvedena třemi paralelními kabely 22-CXEKVCEY 1x240 na fázi. Transformátory mají ovládací skříně přímo na nádobách transformátorů. Pod ovládací skříně jsou umístěny, na samostatné pomocné ocelové konstrukci, součtové transformátory proudu kostrové ochrany stroje. Pomocná ocelová konstrukce je ukotvena k základovému bloku stanoviště. Pro potřebu kostrové ochrany je instalován průvlekový PTP s převodem 300/1 A, 5P10, 10 VA. Uzel transformátoru vvn je uzemněn přímo, zatímco uzel vn je nepřímě uzemněn přes zhášecí tlumivku.

Tab. 4.1 Specifikace transformátoru 50 MVA [9]

Jmenovité napětí:	110 ± 8 · 2 %/23/6,3 kV
Jmenovitý výkon:	50/50/16 MVA
Provedení:	3 fázový olejový regulační
Jmenovitý kmitočet:	50 Hz
Napětí nakrátko:	14 %
Ztráty naprázdno:	22 kW
Ztráty nakrátko:	140 kW
Zkratová odolnost pro vnější zkraty (3 s):	40 kA
Chránění stroje:	Dvoustupňové plynové relé na nádobě
	Přetlakový ventil nádoby
	Jednostupňové plynové relé na regulaci
	Teploměry pro signalizaci teploty vinutí a oleje

4.1.4 Tlumivky, odporníky a odpojovače

V rozvodně je provedena instalace dvou zhášecích tlumivek společně s novými sekundárními odporníky. Libovolnou tlumivku je možné připojit ke kterémukoliv transformátoru. Pro odpojovače každé tlumivky je instalována společná skříň se signalizací zemního spojení (optickou signalizací tvoří diody). Silové napojení nuly transformátoru T101 je vedeno k odpojovačům tlumivky TL21, kde jsou rozpojitelná místa pro zajištění pracovišť (při práci na odpojovačích QL12). Silové napojení nuly transformátoru T102 je vedeno k odpojovačům tlumivky TL22, kde jsou rozpojitelná místa pro zajištění pracovišť (při práci na odpojovačích QL21). Silová propojení od transformátorů a mezi stanovišti tlumivek jsou provedeny kabely 22-CXEKVCEY 1x240 s venkovními kabelovými koncovkami.

Tab. 4.2 Specifikace zhášecí tlumivky ASR 5.0 [9]

Jmenovité napětí:	13,29 kV
Jmenovitý výkon:	6300 kvar
Nejvyšší přípustné prov. napětí sítě:	25 kV
Jmenovitý kmitočet:	50 Hz
Proudový regulační rozsah:	47,46 - 474 A
Transformátor proudu:	500/1 A, tř. 1FS5, 30 VA
Druh provozu:	KB – 2 h
Materiál vinutí:	CU
Ochranné a sig. Přístroje:	Plynové relé, kap. teploměr
	Ukazatel polohy jádra, potenciometr 2x200 Ohm

Tab. 4.3 Specifikace sekundárního odporníku SR 1000/6 [9]

Typ:	SR 1000/6
Jmenovité napětí:	500 V
Jmenovitý proud:	1000 A
Jmenovitý odpor:	0,5 Ohm/20 °C
Doba zatížení:	6 s

Tab. 4.4 Specifikace odpojovačů SERW [9]

Typ:	1SNJ 02506
Jmenovité napětí:	25 kV
Jmenovitý proud:	630 A
Zkratová odolnost:	20 kA
Napětí pohonu:	230 V AC
Ovládací a signalizační napětí:	220 V DC

4.1.5 Střídavá vlastní spotřeba

Základními zdroji pro střídavou vlastní spotřebu jsou dva olejové transformátory, které jsou označeny TVS1 a TVS2. Hlavní rozvaděč střídavé vlastní spotřeby 230/400 V, 50 Hz ozn. ANH1-5 je s jedním systémem přípojníc podélně děleným. Přívody v krajních polích jsou napájeny z transformátorů vlastní spotřeby a je na nich prováděno obchodní měření. Mezi přívody je v PD automatický záskok s prioritou. Je možné z řídicího systému dálkově ovládat hlavní přívody a záskok.

Tab. 4.5 Specifikace transformátorů vlastní spotřeby vn/nn TVS1 a TVS2 [9]

Převod:	22/0,4 kV
Jmenovitý výkon:	250 kVA
Provedení:	3 fázový olejový

4.2 Rozvodna 110 kV Fifejdy

Rozvodna 110 kV je navržena jako vnitřní, jednořadá, zapouzďřená rozvodna. Provedení rozvodny je s jedním systémem přípojníc s podélným dělením. Tato rozvodna je rozdělena na dvě sekce. V první sekci je vývod na transformátor T102 a vývod na rozvodnu 110 kV Elektrárna Třebovice, následně ve druhé sekci je vývod na transformátor T101 a vývod na rozvodnu 110 kV Teplárna Ostrava. Silové připojení primárních průchodek transformátorů T101/T102 na zapouzďřenou rozvodnu 110 kV je zajištěno 3pólově zapouzďřenými vodiči a AlFe lany. Zapouzďřené vodiče jsou vedeny po vnější a vnitřní stěně mezi stanovišti transformátoru a budovou společných provozů. S ohledem na použití standardního připojení transformátorů byla potřeba přejít ze zapouzďřeného vodiče na AlFe lano. Toto řešení se volilo s ohledem na možnost rychlé výměny transformátoru v případě havárie. Veškerá kabeláž pro měření a signalizaci je stíněná (signalizační kabeláž má rezervní žíly). V případě ztráty ovládacího nebo napájecího napětí pohonu je umožněna ruční manipulace přímo z rozvaděče. Rozvodna 110 kV obsahuje 5 polí:

- Pole AEA01: T102
- Pole AEA02: V5639 (Třebovice)
- Pole AEA03: SPH
- Pole AEA04: V5640 (Teplárna Ostrava)
- Pole AEA05: T101

Tab. 4.6 Parametry distribuční sítě vvn [9]

Jmenovité napětí:	110 kV
Nejvyšší napětí sítě:	123 kV
Jmenovitý kmitočet:	50 Hz
Počet fází:	3
Druh distribuční sítě:	TT

Tab. 4.7 Parametry rozvaděče 110 kV [9]

Provedení zapouzdření:	3pólové
Zhášecí a izolační médium:	SF ₆
Nejvyšší provozní napětí sítě:	123 kV
Jmenovité výdržné střídavé napětí proti zemi:	230 kV
Jmenovité výdržné střídavé napětí mezi rozpojenými kontakty:	265 kV
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulzu proti zemi:	550 kV
Jmenovité výdržné napětí při atm. imp. mezi rozpojenými kontakty:	630 kV
Jmenovitý kmitočet:	50 Hz
I _n přípojníc (včetně SPH):	1200 A
I _n vývodů:	1200 A
I _n vývodů na transformátory 110/22 kV:	1200 A
I _n SPH:	1200 A
Jmenovitý krátkodobý výdržný proud (1 s):	31.5 kA
Jmenovitý dynamický výdržný proud:	80 kA
Jmenovité napětí pohonů vypínačů a odpojovačů:	230 V AC
Jmenovité napětí pro ovládání:	220 V DC
Jmenovité signalizační napětí:	220 V DC

4.3 Rozvodna 22 kV Fifejdy

Rozvodna 22 kV je koncipována jako vnitřní, jednořadá, skříňová rozvodna (typu NXPLUS firmy SIEMENS) se dvěma systémy hlavních přípojníc s podélným dělením a příčnou spojkou v obou sekcích. Rozvaděč je sestaven z 36 polí, z toho je 26 skříní vývodů na kabelová vedení (6 polí tvoří rezervy), 2 pole přívodů od transformátoru 110/23 kV (T101,T102), 2 pole vývodů na transformátor vlastní spotřeby (TVS1 a TVS2), 2 pole spínače přípojníc, 2 pole měření přípojníc a 2 pole podélného dělení přípojníc. Kabely z rozvaděče jsou vedeny otvorem v podlaze do kabelového prostoru pod rozvodnou vn a po kabelových lávkách k prostupům ve zdi. V jednotlivých polích rozvaděče jsou nainstalovány terminály řídicího systému s ochrannými funkcemi.

Tab. 4.8 Parametry distribuční sítě vn [9]

Jmenovité napětí:	23 kV
Nejvyšší napětí sítě:	25 kV
Jmenovitý kmitočet:	50 Hz
Počet fází:	3
Druh distribuční sítě:	IT

Tab. 4.9 Parametry rozvaděče 22 kV [9]

Provedení zapouzdření:	3pólové
Zhášecí a izolační médium:	SF ₆
Nejvyšší provozní napětí sítě:	25 kV
Jmenovité výdržné napětí při kmitočtu 50 Hz:	50 kV
Jmenovité výdržné napětí při kmitočtu 50 Hz přes izolovanou dráhu:	60 kV
Jmenovité výdržné napětí při atmosférickém impulzu:	125 kV
Jmenovité výdržné napětí při atm. imp. přes izolovanou dráhu:	145 kV
Jmenovitý kmitočet:	50 Hz
I _n přípojníc:	2000 A
I _n vývodů:	1250/630 A
I _n vývodů na transformátory 110/23 kV:	2000 A
I _n SP:	2000 A
I _n PD:	2000 A
Jmenovitý krátkodobý výdržný proud (3 s):	25 kA
Jmenovitý dynamický výdržný proud:	63 kA
Jmenovité napětí pohonů vypínačů a odpojovačů:	230 V AC

4.4 Ochrany vn

Vedení z rozvodny Fifejdy jsou chráněná níže uvedenými typy ochran. Jedná se o stávající stav chránění.

Tab. 4.10 Ochrany stávajícího stavu rozvodny

	Typy ochran		
Vedení	Nadproudová	Zkratová	Zemní
VN378	AT31X		GSC
VN379	AT31X		GSC
VN859	SPAA341C3	SPAA341C3	SPAA341C3
VN861	AT31X	A32DX	GCP S1 (5A)
VN862	AT31X		GSC
VN866	AT31X	A32DX	GSC
VN867	AT31X	A32DX	GSC
VN868	AT31X	A32DX	GSC
VN869	AT31X	A32DX	GSC
VN870	AT31X	A32DX	GSC
VN871	AT31X	A32DX	GSC
VN872	AT31X	A32DX	GSC
VN873	AT31X	A32DX	GSC
VN882	AT31X	A32DX	GSC
VN883	AT31X	A32DX	GSC
VN1874	SPAA341C1	SPAA341C1	SPAA341C1
VN1903	AT31X	A32DX	GSC
VN1904	AT31X	A32DX	GSC
VN2071	AT31X	A32DX	GSC
VN2072	AT31X	A32DX	GSC

4.4.1 Ochrany a řídicí systém v R 110/22 kV Fifejdy

- Digitální distanční ochrana společně s podélnou rozdílovou ochranou a s vývody pro pole AEA02 a AEA03 jsou instalovány do skříně AWE2 do dozorny rozvodny.
- Digitální distanční ochrana společně s podélnou rozdílovou ochranou a s vývody pro pole AEA04 a AEA03 jsou instalovány do skříně AWE3 do dozorny rozvodny.
- Transformátor T102 je chráněn nadproudovou ochranou, rozdílovou ochranou a regulátorem napětí pro pole AEA01 a tyto ochrany jsou umístěny ve skříně AWE3 v dozorně rozvodny.
- Transformátor T101 je chráněn nadproudovou ochranou, rozdílovou ochranou a regulátorem napětí pro pole AEA05 a tyto ochrany jsou umístěny ve skříně AWE4 v dozorně rozvodny.
- Centrální ROP je instalována ve skříně AWE1 v dozorně rozvodny.
- Automatiky ladění tlumivek a spínání odporníků jsou ve skříně AWW1 v dozorně společně s terminálem.
- Ovládací skříně vn rozvaděče pole vývodu, přívodu a TVS jsou osazeny ochranou 7SJ632, v poli měření jsou 2ks 7SJ804 a v poli SP a PD je ochrana 7SJ645.

4.4.2 Řídicí systém

Do skříně AXE1 je instalován SICAM PAS včetně redundantního zdroje a routeru. Vývodový terminál pole vvn AEA02/04 je ve skříně AWE2/3, terminál tlumivek je ve skříně s automatikami tlumivek. V rozvaděči střídavé vlastní spotřeby v poli podélného dělení (ANH3) je instalován terminál 6MD636 (ovl. a signalizace ze střídavé vl. spotřeby a měření teploty). V rozvaděči stejnosměrné vlastní spotřeby v poli první sekce (ATEP1) je terminál 6MD636 (hlášky ze stejnosměrné vlastní spotřeby, měření napětí a hlášky z ostatních částí rozvodny). Ovládání PC je zajištěno v dozorně rozvodny. Ke koncentrátoru SICAM PAS jsou připojeny ochrany, terminály, regulátory a automatiky.

5. Popis ochran navržených pro chránění rozvodny 22 kV Fifejdy

Pro chránění rozvodných polí 22 kV Fifejdy jsou použity ochrany SIPROTEC 7SJ632 od firmy Siemens, následně ve spojkách je použita ochrana typu 7SJ645, protože má výkonnější mikroprocesor a je schopna zvládnout blokovací podmínky, které jsou ve spojce nejsložitější. V měření jsou použity nadproudové ochrany typu 7SJ804 bez ochranných funkcí. [10]

5.1 Multifunkční ochrana s řízením 7SJ63/64 SIPROTEC

Digitální multifunkční ochrana je vybavena výkonným mikroprocesorem, tím jsou digitálně zpracovávány všechny úkoly od detekce měřených veličin až k vydání příkazu na silový vypínač. Ochrana se nasazuje jako přístroj sloužící pro chránění, řízení a monitorování vývodů z přípojníc. Ochrana je možné aplikovat v sítích uzemněných, izolovaných, kompenzovaných nebo zemněných přes nízkohomový odpor. Přístroj obsahuje funkce, které jsou zpravidla nutné pro chránění, kontrolu a ovládání spínacích prvků v rozvodnách s jednoduchými nebo dvojitými přípojnícemi.

5.1.1 Všeobecné vlastnosti

- Výkonný 32bitový mikroprocesorový systém.
- Úplné digitální zpracování měřených hodnot a ovládání, od vzorkování a digitalizace měřených veličin až po rozhodnutí o vypnutí a zapnutí silového vypínače.
- Úplné galvanické oddělení zabezpečené proti rušení od vnitřních měřicích, ovládacích a napájecích obvodů rozvodny převodníky měřených hodnot, moduly binárních vstupů a výstupů a střídavým nebo stejnosměrným převodníkem.
- Plný rozsah funkcí pro úkoly, které jsou nutné pro chránění a ovládání vývodů nebo přípojníc.
- Snadná obsluha zabudovaným ovládacím a zobrazovacím panelem nebo pomocí připojeného PC.
- Trvalý počet a zobrazování měřených a vypočtených hodnot na přední straně.
- Ukládání min/max měřených hodnot a ukládání dlouhodobých středních hodnot.
- Ukládání poruchových hlášení posledních osm poruch v síti s přiřazením reálného času a okamžitých hodnot pro zapisovač poruch pro maximální časový rozsah 5 s.
- Trvalá kontrola měřených veličin a hardwaru a softwaru přístroje.
- Možná komunikace s centrálními řídicími a paměťovými zařízeními sériovým rozhraním, volitelně datovým vedením, modemem nebo optickým vodičem.
- Hodiny jištěné baterií, které jsou synchronizovatelné signálem, binárním vstupem nebo systémovým rozhraním.
- Statistika spínání: Počet vypínacích příkazů, provedených přístrojem.
- Počítadlo provozních hodin: Počet provozních hodin chráněného objektu pod zátěží.
- Nápomoc při uvádění do provozu jako kontrola zapojení a otáčení pole, indikátor stavu všech binárních vstupů a výstupů, jednoduché testování systémového rozhraní a možnost ovlivňování informací na sériovém rozhraní během testovacího provozu.

5.1.2 Vlastnosti jednotlivých typů ochrany SIPROTEC 7SJ63/64

5.1.2.1 Nadproudová ochrana

- Dva nezávislé stupně a jeden proudově závislý stupeň vždy pro fázové proudy, pro zemní proud I_E popř. součtový proud $3 \cdot I_0$.
- Možný dvoufázový provoz nadproudové ochrany (I_{L1}, I_{L3}).
- Pro proudově závislou ochranu možnost výběru z různých charakteristik různých standardů nebo volba uživatelem definované charakteristiky.
- Možnost blokování např. pro zpětnou blokádu s libovolným stupněm.
- Možné nezpožděné vypnutí libovolným stupněm při zapnutí do zkratu.
- Zapínací stabilizace druhou harmonickou.

5.1.2.2 Zemní ochrana

- Nadproudová ochrana se dvěma nezávislými stupni a jedním proudově závislým stupněm pro vysokoohmové zemní poruchy v uzemněných sítích.
- Pro proudově závislou ochranu možnost výběru z různých charakteristik různých standardů nebo volba uživatelem definované charakteristiky.
- Zapínací stabilizace druhou harmonickou.
- Možné nezpožděné vypnutí libovolným stupněm při zapnutí do zkratu.

5.1.2.3 Směrová nadproudová ochrana

- Po třech fázových a zemních stupních pracujících paralelně s nesměrovou nadproudovou ochranou a nezávisle na ní nastavitelných.
- Určení směru se provádí pro každou fázi zvlášť a odděleně pro fázové a zemní poruchy.
- Určení směru se provádí selektivně po fázích a odděleně pro fázové, zemní, popř. součtový proud.

5.1.2.4 Dynamické přepínání parametrů

- Možné dynamické přepínání parametrů nadproudové ochrany např. při studeném rozběhu zařízení.
- Rozpoznání studeného rozběhu volitelně stavem výkonového vypínače nebo proudovou mezí.
- Možná aktivace automatickým opětným zapnutím (OZ).
- Možný také start binárním vstupem.

5.1.2.5 Jednofázová nadproudová ochrana

- Vyhodnocení měřeného proudu citlivým nebo necitlivým zemním proudovým transformátorem.
- Vhodná jako proud uzlu rozdílové ochrany na straně transformátoru, generátoru nebo motoru popř. pro uzemněnou sadu tlumivek.

- Nasaditelná jako nádobová ochrana proti nedovoleným svodovým proudům mezi nádobou transformátoru a zemí.

5.1.2.6 Napět'ová ochrana

- Dvoustupňová detekce podpětí souslednou složku napětí popř. nejmenším z přivedených napětí.
- Volitelně nastavitelné proudové kritérium jako dodatečná podmínka uvolnění.
- Oddělené dvoustupňové vyhodnocování přepětí největším z přivedených napětí popř. detekcí zpětné složky napětí.
- U jednofázového zapojení se vyhodnocuje připojení 1 fázové sdružené nebo fázové napětí.
- Nastavitelný přídržný poměr u všech stupňů podpět'ové a přepět'ové ochrany.

5.1.2.7 Ochrana proti nesymetrii

- Vyhodnocení zpětné složky proudů.
- Dvoustupňová nezávislá vypínací charakteristika; volitelně jsou navíc k dispozici inverzní charakteristiky různých standardů.

5.1.2.8 Citlivá zemní ochrana

- Detekce zbytkového napětí měřením nebo výpočtem z fázových napětí.
- Určení fáze, postižené zemním spojením, pro nasazení v izolovaných nebo kompenzovaných sítích.
- Dvoustupňové měření zemních proudů $I_{EE} \gg a I_{EE} >$.
- Vysoká citlivost (nastavitelná od 1 mA).
- Nadproudový stupeň s nezávislým nebo proudově závislým zpožděním.
- Pro závislou ochranu je k dispozici jedna uživatelem definovatelná a dvě logaritmičsky inverzní charakteristiky proud/čas.
- Určení směru složky nulového systému (I_0, U_0), wattmetrické určení směru zemního spojení.
- Každý stupeň může být nastaven směrově – vpřed nebo vzad – nebo nesměrově.
- Nastavitelná směrová charakteristika
- Volitelně nasaditelná jako zemní zkratová ochrana.

5.1.2.9 Automatika opětného zapnutí

- Jedno nebo vícenásobná.
- S oddělenými časy pro první a další impulsy.
- Nastavitelné, které nadproudové nebo zemní stupně mají s automatikou pracovat a které nikoliv.
- Oddělené programy pro fázové a zemní poruchy.

- Interakce ke stupňům nadproudové a zemní ochrany. Možnost blokování nebo nezpožděné vypnutí.
- Ve spojení s integrovanou synchronizační funkcí možné synchronní opětné zapnutí (pouze u 7SJ64).

5.1.3 Nadproudová ochrana SIPROTEC 7SJ804

Digitální ochrana typu 7SJ804 je podobná ochraně 7SJ62/63/64. Tato ochrana je rovněž primárně určená k chránění, řízení a monitorování přípojníc, přičemž její hlavní funkcí je nesměrová nadproudová ochrana, nicméně může sloužit jako směrová nadproudová ochrana nebo jako AOZ atd. Rozdíl této ochrany s ochranou 7SJ62/63/64 nastává v nižší cenové relaci a v menších rozměrech. Nadproudová ochrana je umístěna v polích měření v rozvodně Fifejdy 22 kV.

6. Výpočet zkratových poměrů pro nastavení ochran

Zkratové poměry na straně 110 kV byly vypočteny a převzaty z programu DAISY-PASS.

Tab. 6.1 Zkratové hodnoty rozvodny Fifejdy 110/22 kV

U (kV)	S_{ks3}	I_{ks3}	S_{ks1}	I_{ks1}
110	(MVA)	(kA)	(MVA)	(kA)
Max	2143.41	11.25	1804.28	9.47
Min	722.09	3.79	802.11	4.21

Tab. 6.2 Parametry transformátorů T101 a T102

Transformátor	S_{nT}	U_{n1T}	U_{n2T}	u_k	ΔP_k
	(MVA)	(kV)	(kV)	(%)	(kW)
T101	50	110.0	23.0	12	140
T102	50	110.0	23.0	14	140

Výpočet převodového poměru:

$$p_p = \frac{U_{n1T}}{U_{n2T}} \cdot \frac{U_{V2}}{U_{V1}} = \frac{110}{23} \cdot \frac{23}{115} = 0,957$$

Výpočet maximální reaktance soustavy na straně 110 kV:

$$X_{S \max (110)} = \frac{c \cdot U_{110}^2}{S_{k3 \min}''} = \frac{1,1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{722,09 \cdot 10^6} = 18,43 \, \Omega$$

Výpočet minimální reaktance soustavy na straně 110 kV:

$$X_{S \min (110)} = \frac{c \cdot U_{110}^2}{S_{k3 \max}''} = \frac{1,1 \cdot (110 \cdot 10^3)^2}{2143,41 \cdot 10^6} = 6,21 \, \Omega$$

Výpočet maximální zkratové reaktance sítě přepočtená na stranu 22 kV:

$$X_{S \max (22)} = X_{S \max (110)} \cdot \left(\frac{U_{n2T}}{U_{n1T} \cdot p_p} \right)^2 = 18,43 \cdot \left(\frac{23}{110 \cdot 0,957} \right)^2 = 0,88 \, \Omega$$

Výpočet minimální zkratové reaktance sítě přepočtená na stranu 22 kV:

$$X_{S \min (22)} = X_{S \min (110)} \cdot \left(\frac{U_{n2T}}{U_{n1T} \cdot p_p} \right)^2 = 6,21 \cdot \left(\frac{23}{110 \cdot 0,957} \right)^2 = 0,296 \, \Omega$$

Výpočty pro transformátor T101:

$$R_{T101} = \frac{\Delta P_k \cdot U_{n2T}^2}{S_{nT}^2} = \frac{140 \cdot 10^3 \cdot (23 \cdot 10^3)^2}{(50 \cdot 10^6)^2} = 0,0296 \, \Omega$$

$$Z_{T101} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{n2T}^2}{S_{nT}} = \frac{12}{100} \cdot \frac{(23 \cdot 10^3)^2}{50 \cdot 10^6} = 1,27 \, \Omega$$

$$X_{T101} = \sqrt{Z_{T101}^2 - R_{T101}^2} = \sqrt{1,27^2 - 0,0296^2} = 1,27 \, \Omega$$

Výpočty pro transformátor T102:

$$R_{T102} = \frac{\Delta P_k \cdot U_{n2T}^2}{S_{nT}^2} = \frac{140 \cdot 10^3 \cdot (23 \cdot 10^3)^2}{(50 \cdot 10^6)^2} = 0,0296 \, \Omega$$

$$Z_{T102} = \frac{u_k}{100} \cdot \frac{U_{n2T}^2}{S_{nT}} = \frac{14}{100} \cdot \frac{(23 \cdot 10^3)^2}{50 \cdot 10^6} = 1,481 \, \Omega$$

$$X_{T102} = \sqrt{Z_{T102}^2 - R_{T102}^2} = \sqrt{1,481^2 - 0,0296^2} = 1,481 \, \Omega$$

Výpočet celkové maximální zkratové reaktance na přípojnících 22 kV ze strany T101:

$$X_{(1)max} = X_{S \max (22)} + X_{T101} = 0,88 + 1,27 = 2,15 \, \Omega$$

Výpočet celkové minimální zkratové reaktance na přípojnících 22 kV ze strany T101:

$$X_{(1)min} = X_{S \min (22)} + X_{T101} = 0,296 + 1,27 = 1,566 \, \Omega$$

Výpočet celkové maximální zkratové reaktance na přípojnících 22 kV ze strany T102:

$$X_{(1)max} = X_{S \max (22)} + X_{T102} = 0,88 + 1,481 = 2,361 \, \Omega$$

Výpočet celkové minimální zkratové reaktance na přípojnících 22 kV ze strany T102:

$$X_{(1)min} = X_{S \min (22)} + X_{T102} = 0,296 + 1,481 = 1,777 \, \Omega$$

Výpočet celkové maximální zkratové impedance ze strany T101:

$$Z_{(1)max} = \sqrt{X_{(1)max}^2 + R_{T101}^2} = \sqrt{2,15^2 + 0,0296^2} = 2,15 \, \Omega$$

Výpočet celkové minimální zkratové impedance ze strany T101:

$$Z_{(1)min} = \sqrt{X_{(1)min}^2 + R_{T101}^2} = \sqrt{1,566^2 + 0,0296^2} = 1,566 \, \Omega$$

Výpočet celkové maximální zkratové impedance ze strany T102:

$$Z_{(1)max} = \sqrt{X_{(1)max}^2 + R_{T102}^2} = \sqrt{2,361^2 + 0,0296^2} = 2,361 \, \Omega$$

Výpočet celkové minimální zkratové impedance ze strany T102:

$$Z_{(1)min} = \sqrt{X_{(1)min}^2 + R_{T102}^2} = \sqrt{1,777^2 + 0,0296^2} = 1,777 \, \Omega$$

Výpočet minimálního a maximálního zkratového proudu ze strany T101:

$$I_{k2\ min}'' = \frac{c \cdot U_n}{|2 \cdot Z_{(1)max}|} = \frac{1 \cdot 23}{|2 \cdot 2,15|} = 5,349\text{ kA}$$

$$I_{k3\ max}'' = \frac{c \cdot U_n}{|\sqrt{3} \cdot Z_{(1)min}|} = \frac{1,1 \cdot 23}{\sqrt{3} \cdot 1,566} = 9,328\text{ kA}$$

Výpočet minimálního a maximálního zkratového proudu ze strany T102:

$$I_{k2\ min}'' = \frac{c \cdot U_n}{|2 \cdot Z_{(1)max}|} = \frac{1 \cdot 23}{|2 \cdot 2,361|} = 4,87\text{ kA}$$

$$I_{k3\ max}'' = \frac{c \cdot U_n}{|\sqrt{3} \cdot Z_{(1)min}|} = \frac{1,1 \cdot 23}{\sqrt{3} \cdot 1,777} = 8,22\text{ kA}$$

Výpočet minimálního a maximálního zkratového výkonu ze strany T101:

$$S_{k\ min}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k2\ min}'' = \sqrt{3} \cdot 23 \cdot 10^3 \cdot 5,349 \cdot 10^3 = 213,09\text{ MVA}$$

$$S_{k\ max}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3\ max}'' = \sqrt{3} \cdot 23 \cdot 10^3 \cdot 9,328 \cdot 10^3 = 371,6\text{ MVA}$$

Výpočet minimálního a maximálního zkratového výkonu ze strany T102:

$$S_{k\ min}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k2\ min}'' = \sqrt{3} \cdot 23 \cdot 10^3 \cdot 4,87 \cdot 10^3 = 194\text{ MVA}$$

$$S_{k\ max}'' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_{k3\ max}'' = \sqrt{3} \cdot 23 \cdot 10^3 \cdot 8,22 \cdot 10^3 = 327,46\text{ MVA}$$

Výpočet minimální a maximální zkratové reaktance ze strany T101:

$$X_{kmin}'' = \frac{c \cdot S_{k\ max}''}{3 \cdot I_{k3\ max}''^2} = \frac{1,1 \cdot 371,6 \cdot 10^6}{3 \cdot (9,328 \cdot 10^3)^2} = 1,566\ \Omega$$

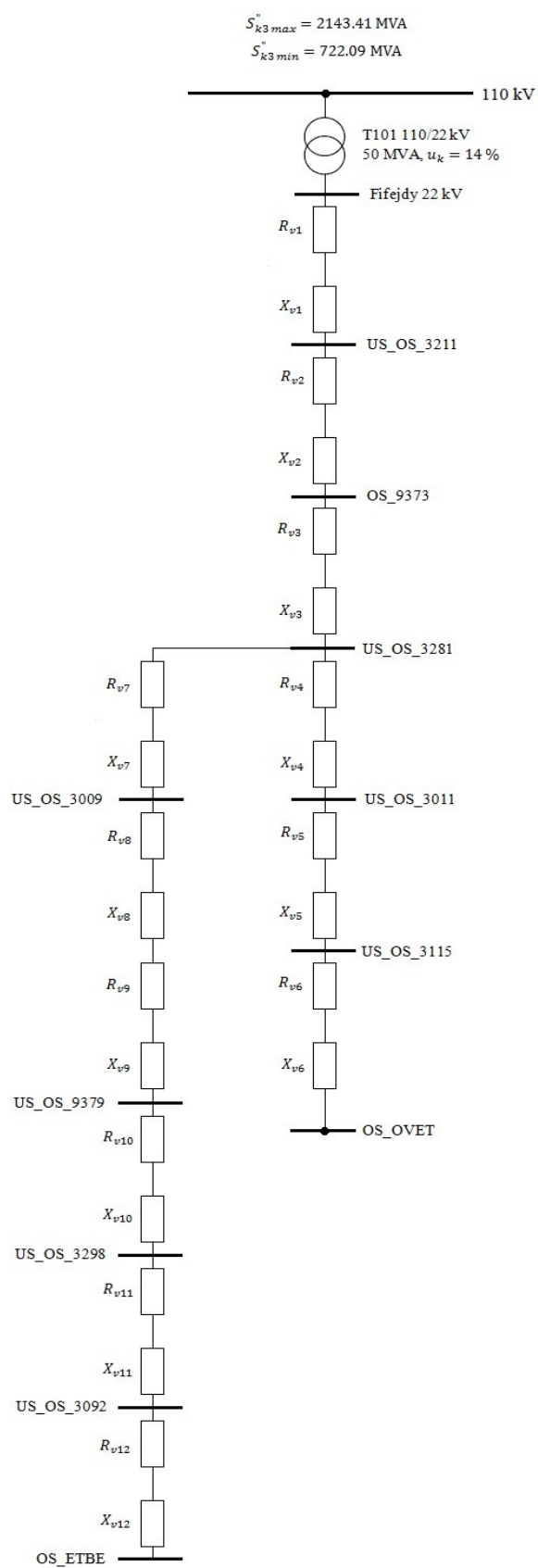
$$X_{kmax}'' = \frac{c \cdot S_{k\ min}''}{3 \cdot I_{k2\ min}''^2} = \frac{1 \cdot 213,09 \cdot 10^6}{3 \cdot (5,349 \cdot 10^3)^2} = 2,48\ \Omega$$

Výpočet minimální a maximální zkratové reaktance ze strany T102:

$$X_{kmin}'' = \frac{c \cdot S_{k\ max}''}{3 \cdot I_{k3\ max}''^2} = \frac{1,1 \cdot 327,46 \cdot 10^6}{3 \cdot (8,22 \cdot 10^3)^2} = 1,777\ \Omega$$

$$X_{kmax}'' = \frac{c \cdot S_{k\ min}''}{3 \cdot I_{k2\ min}''^2} = \frac{1 \cdot 194 \cdot 10^6}{3 \cdot (4,87 \cdot 10^3)^2} = 2,7266\ \Omega$$

Příklad výpočtu pro vedení vn378



Obr. 6.1 Schéma linky vn378

Výpočet činných odporů jednotlivých úseků vedení vn378:

1. Úsek: $R_{v1} = R_{v1k} \cdot l_1 = 0.125 \cdot 1.188 = 0.1485 \Omega$
2. Úsek: $R_{v2} = R_{v2k} \cdot l_2 = 0.266 \cdot 0.267 = 0.071 \Omega$
3. Úsek: $R_{v3} = R_{v3k} \cdot l_3 = 0.266 \cdot 0.387 = 0.103 \Omega$
4. Úsek: $R_{v4} = R_{v4k} \cdot l_4 = 0.266 \cdot 1.088 = 0.289 \Omega$
5. Úsek: $R_{v5} = R_{v5k} \cdot l_5 = 0.234 \cdot 0.609 = 0.143 \Omega$
6. Úsek: $R_{v6} = R_{v6k} \cdot l_6 = 0.129 \cdot 0.788 = 0.102 \Omega$
7. Úsek: $R_{v7} = R_{v7k} \cdot l_7 = 0.266 \cdot 0.457 = 0.122 \Omega$
8. Úsek: $R_{v8} = R_{v8k} \cdot l_8 = 0.266 \cdot 0.573 = 0.152 \Omega$
9. Úsek: $R_{v9} = R_{v9k} \cdot l_9 = 0.234 \cdot 0.220 = 0.051 \Omega$
10. Úsek: $R_{v10} = R_{v10k} \cdot l_{10} = 0.234 \cdot 1.041 = 0.244 \Omega$
11. Úsek: $R_{v11} = R_{v11k} \cdot l_{11} = 0.234 \cdot 2.331 = 0.545 \Omega$
12. Úsek: $R_{v12} = R_{v12k} \cdot l_{12} = 0.129 \cdot 0.748 = 0.096 \Omega$

Výpočet reaktancí jednotlivých úseků vedení vn378:

1. Úsek: $X_{v1} = X_{v1k} \cdot l_1 = 0.113 \cdot 1.188 = 0.134 \Omega$
2. Úsek: $X_{v2} = X_{v2k} \cdot l_2 = 0.366 \cdot 0.267 = 0.098 \Omega$
3. Úsek: $X_{v3} = X_{v3k} \cdot l_3 = 0.366 \cdot 0.387 = 0.142 \Omega$
4. Úsek: $X_{v4} = X_{v4k} \cdot l_4 = 0.366 \cdot 1.088 = 0.398 \Omega$
5. Úsek: $X_{v5} = X_{v5k} \cdot l_5 = 0.361 \cdot 0.609 = 0.22 \Omega$
6. Úsek: $X_{v6} = X_{v6k} \cdot l_6 = 0.088 \cdot 0.788 = 0.069 \Omega$
7. Úsek: $X_{v7} = X_{v7k} \cdot l_7 = 0.366 \cdot 0.457 = 0.167 \Omega$
8. Úsek: $X_{v8} = X_{v8k} \cdot l_8 = 0.366 \cdot 0.573 = 0.21 \Omega$
9. Úsek: $X_{v9} = X_{v9k} \cdot l_9 = 0.361 \cdot 0.220 = 0.079 \Omega$
10. Úsek: $X_{v10} = X_{v10k} \cdot l_{10} = 0.361 \cdot 1.041 = 0.376 \Omega$
11. Úsek: $X_{v11} = X_{v11k} \cdot l_{11} = 0.361 \cdot 2.331 = 0.841 \Omega$
12. Úsek: $X_{v12} = X_{v12k} \cdot l_{12} = 0.088 \cdot 0.748 = 0.066 \Omega$

Suma činných odporů vedení vn378:

$$\sum_{i=1}^{12} R_{vi} = 0.1485 + 0.071 + 0.103 + 0.289 + 0.143 + 0.102 + 0.122 \\ + 0.152 + 0.051 + 0.244 + 0.545 + 0.096 = 2.067 \Omega$$

Suma reaktancí vedení vn378:

$$\sum_{i=1}^{12} X_{vi} = 0.134 + 0.098 + 0.142 + 0.398 + 0.22 + 0.069 + 0.167 + 0.21 \\ + 0.079 + 0.376 + 0.841 + 0.066 = 2.801 \Omega$$

Výpočet zkratových poměrů na začátku vedení v US_OS_3211

Výpočet maximálního třífázového rázového zkratového proudu pro první úsek vedení vn378:

$$I_{k3 \max 1}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{k \min}'' + X_{v1})^2}} = \frac{1.1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{0.1485^2 + (1.566 + 0.134)^2}} \\ = 8.186 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního dovoleného vypínacího času pro první úsek vedení vn378:

$$t_{vyp 1} = \left(\frac{S \cdot K}{I_{k3 \max}'' \cdot k_e} \right)^2 = \left(\frac{240 \cdot 93}{9328 \cdot 1.02} \right)^2 = 5.50 \text{ s}$$

Výpočet minimálního dvoufázového zkratového proudu pro první úsek vedení vn378:

$$I_{k2 \min 1}'' = \frac{U_n}{2 \cdot \sqrt{R_{v1}^2 + (X_{k \max}'' + X_{v1})^2}} = \frac{22}{2 \cdot \sqrt{0.1485^2 + (2.48 + 0.134)^2}} = 4.201 \text{ kA}$$

Výpočet zkratových poměrů na konci odbočkového vedení v OS_ETBE

Výpočet činných odporů jednotlivých úseků vedení vn378:

$$R_{OS_OVFI-OS_ETBE} = R_{v1} + R_{v2} + R_{v3} + R_{v7} + R_{v8} + R_{v9} + R_{v10} + R_{v11} + R_{v12} \\ = 0.1485 + 0.071 + 0.103 + 0.122 + 0.152 + 0.051 + 0.244 + 0.545 + 0.09 \\ = 1.533 \Omega$$

Výpočet reaktancí jednotlivých úseků vedení vn378:

$$X_{OS_OVFI-OS_ETBE} = X_{v1} + X_{v2} + X_{v3} + X_{v7} + X_{v8} + X_{v9} + X_{v10} + X_{v11} + X_{v12} \\ = 0.134 + 0.098 + 0.142 + 0.167 + 0.21 + 0.079 + 0.376 + 0.841 + 0.066 \\ = 2.113 \Omega$$

Výpočet maximálního třífázového rázového zkratového proudu pro úsek vedení vn378:

$$I_{k3 \max 1}'' = \frac{c \cdot U_n}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_{OS_OVFI-OS_ETBE}^2 + (X_{k \min}'' + X_{OS_OVFI-OS_ETBE})^2}} =$$

$$= \frac{1.1 \cdot 22}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{1.533^2 + (1.566 + 2.113)^2}} = 3.506 \text{ kA}$$

Výpočet maximálního dovoleného vypínacího času pro úsek vedení vn378:

$$t_{vyp 1} = \left(\frac{S \cdot K}{I_{k3 \max}'' \cdot k_e} \right)^2 = \left(\frac{240 \cdot 71}{3593 \cdot 1.02} \right)^2 = 21.62 \text{ s}$$

Výpočet minimálního dvoufázového zkratového proudu pro úsek vedení vn378:

$$I_{k2 \min 1}'' = \frac{U_n}{2 \cdot \sqrt{R_{OS_OVFI-OS_ETBE}^2 + (X_{k \max}'' + X_{OS_OVFI-OS_ETBE})^2}} =$$

$$= \frac{22}{2 \cdot \sqrt{1.533^2 + (2.48 + 2.113)^2}} = 2.272 \text{ kA}$$

6.1 Zadané parametry jednotlivých úseků vedení

Tab. 6.3 – Parametry vedení linky vn378

vn378 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{Dov}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	US_OS_3211	AXEKVCEY	1188	240	417	93	0.125	0.113
US_OS_3211	OS_9373	AlFe110/22	267	110	236	107	0.266	0.366
OS_9373	US_OS_3281	AlFe110/22	387	110	318	107	0.266	0.366
US_3281	US_OS_3011	AlFe110/22	1088	110	318	107	0.266	0.366
US_OS_3011	US_OS_3115	AlFe	609	120	357	107	0.234	0.361
US_OS_3115	OS_OVET	ANKTOYPV	788	240	353	71	0.129	0.088

Odbočkové vedení		Typ vedení	l	S	I_{Dov}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
US_OS_3281	US_OS_3009	AlFe110/22	457	110	318	107	0.266	0.366
US_OS_3009	US_OS_9379	AlFe110/22	573	110	318	107	0.266	0.366
		AlFe	220	120	357	107	0.234	0.361
US_OS_9379	US_OS_3298	AlFe	1041	120	357	107	0.234	0.361
US_OS_3298	US_OS_3092	AlFe	2331	120	357	107	0.234	0.361
US_OS_3092	OS_ETBE	ANKTOYPV	748	240	353	71	0.129	0.088

Tab. 6.4 - Parametry vedení linky vn379

vn379 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{Dov}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	US_OS_3212	AXEKVCEY	1190	240	417	93	0.125	0.113
US_OS_3212	US_OS_9390	AlFe110/22	266	110	236	107	0.266	0.366
US_OS_9390	US_OS_3282	AlFe110/22	384	110	318	107	0.266	0.366
US_OS_3282	US_OS_3010	AlFe110/22	1091	110	318	107	0.266	0.366
US_OS_3010	US_OS_3117	AlFe	608	120	357	107	0.234	0.361
US_OS_3117	OS_OVET	ANKTOYPV	733	240	353	71	0.129	0.088

Odbočkové vedení		Typ vedení	l	S	I_{Dov}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
US_OS_3282	US_OS_3016	AlFe110/22	460	110	318	107	0.266	0.366
US_OS_3016	US_OS_9377	AlFe110/22	573	110	318	107	0.266	0.366
		AlFe	222	120	357	107	0.234	0.361
US_OS_9377	US_OS_3065	AlFe	3361	120	357	107	0.234	0.361
US_OS_3065	OS_ETBE	ANKTOYPV	752	240	353	71	0.129	0.088

Tab. 6.5 - Parametry vedení linky vn859

vn859 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{Dov}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_0956 (NORA)	AXEKVCEY	1643	240	417	93	0.125	0.113
		AXEKVCEY	723	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.6 – Parametry vedení linky vn861

vn861 – Úseky vedení		Typ vedení	<i>l</i>	<i>S</i>	<i>I_{Dov}</i>	<i>K</i>	<i>R</i>	<i>X</i>
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_9238	AXEKVCEY	498	240	417	93	0.125	0.113
OS_9238	OS_9005	AXEKVCEY	536	240	417	93	0.125	0.113
OS_9005	OS_7929	AXEKVCEY	271	240	417	93	0.125	0.113
OS_7929	OS_9236	AXEKVCEY	691	240	417	93	0.125	0.113
OS_9236	OS_9031	AXEKVCEY	550	240	417	93	0.125	0.113
OS_9031	OS_7928	AXEKVCEY	125	240	417	93	0.125	0.113

Odbočkové vedení		Typ vedení	<i>l</i>	<i>S</i>	<i>I_{Dov}</i>	<i>K</i>	<i>R</i>	<i>X</i>
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_7929	OS_8001	AXEKVCEY	632	240	417	93	0.125	0.113
OS_8001	OS_8011	AXEKVCEY	210	240	417	93	0.125	0.113
OS_8011	OS_7856	AXEKVCEY	449	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.7 – Parametry vedení linky vn862

vn862 – Úseky vedení		Typ vedení	<i>l</i>	<i>S</i>	<i>I_{Dov}</i>	<i>K</i>	<i>R</i>	<i>X</i>
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_CLOU	AXEKVCEY	279	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	2159	240	353	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	1238	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	502	240	353	71	0.129	0.088

Tab. 6.8 – Parametry vedení linky vn866

vn866 – Úseky vedení		Typ vedení	<i>l</i>	<i>S</i>	<i>I_{Dov}</i>	<i>K</i>	<i>R</i>	<i>X</i>
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_8004	AXEKVCEY	176	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	840	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	174	240	417	93	0.125	0.113
OS_8004	OS_8005	AXEKVCEY	178	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	220	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	27	240	417	93	0.125	0.113
OS_8005	OS_8007	AXEKVCEY	26	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	48	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	33	240	417	93	0.125	0.113
OS_8007	OS_8227	AXEKVCEY	35	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	118	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	75	240	417	93	0.125	0.113
OS_8227	OS_8006	AXEKVCEY	72	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	89	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	152	240	417	93	0.125	0.113
OS_8006	OS_8055	AXEKVCEY	149	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	161	240	357	71	0.129	0.088

vn866 – Úseky vedení		Typ vedení	<i>l</i>	<i>S</i>	<i>I_{dov}</i>	<i>K</i>	<i>R</i>	<i>X</i>
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_8055	OS_9380	ANKTOYPV	298	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	9	240	417	93	0.125	0.113
OS_9380	OS_8054	AXEKVCEY	32	240	417	93	0.125	0.113
OS_8054	OS_9388	ANKTOYPV	211	240	357	71	0.129	0.088

Odbočkové vedení		Typ vedení	<i>l</i>	<i>S</i>	<i>I_{dov}</i>	<i>K</i>	<i>R</i>	<i>X</i>
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_8055	OS_8053	ANKTOYPV	163	240	357	71	0.129	0.088
OS_8053	OS_8739	ANKTOYPV	289	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	52	240	417	93	0.125	0.113
OS_8739	OS_0138	AXEKVCEY	55	240	417	93	0.125	0.113
OS_0138	OS_0119	AXEKVCEY	24	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	229	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	263	240	417	93	0.125	0.113
OS_0119	OS_9381	AXEKVCEY	361	240	417	93	0.125	0.113
OS_9381	OS_7997	AXEKVCEY	135	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	239	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	151	240	417	93	0.125	0.113
OS_7997	OS_7996	AXEKVCEY	178	240	417	93	0.125	0.113
OS_7996	OS_9383	AXEKVCEY	177	240	417	93	0.125	0.113
OS_9383	OS_9384	AXEKVCEY	24	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	363	240	357	71	0.129	0.088

Tab. 6.9 – Parametry vedení linky vn867

vn867 – Úseky vedení		Typ vedení	<i>l</i>	<i>S</i>	<i>I_{dov}</i>	<i>K</i>	<i>R</i>	<i>X</i>
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_7930	AXEKVCEY	177	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	247	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	49	240	417	93	0.125	0.113
OS_7930	OS_7931	AXEKVCEY	46	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	28	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	296	240	417	93	0.125	0.113
OS_7931	OS_9240	AXEKVCEY	240	240	417	93	0.125	0.113
OS_9240	OS_8066	AXEKVCEY	157	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	567	240	357	71	0.129	0.088
OS_8066	OS_8067	AXEKVCEY	186	240	417	93	0.125	0.113
OS_8067	OS_8063	AXEKVCEY	222	240	417	93	0.125	0.113
OS_8063	OS_8070	AXEKVCEY	221	240	417	93	0.125	0.113
OS_8070	OS_8062	AXEKVCEY	407	240	417	93	0.125	0.113
OS_8062	OS_7857 (vn868)	AXEKVCEY	191	240	417	93	0.125	0.113
OS_7857	OS_8068	AXEKVCEY	173	240	417	93	0.125	0.113
OS_8068	OS_OVFI	AXEKVCEY	1074	240	417	93	0.125	0.113
		AXEKVCEY	175	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.10 – Parametry vedení linky vn868

vn868 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{Dov}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_8068	AXEKVCEY	175	240	417	93	0.125	0.113
		AXEKVCEY	1074	240	417	93	0.125	0.113
OS_8068	OS_7857	AXEKVCEY	173	240	417	93	0.125	0.113
OS_7857	OS_8062	AXEKVCEY	191	240	417	93	0.125	0.113
OS_8062	OS_8070 (vn867)	AXEKVCEY	407	240	417	93	0.125	0.113
OS_8070	OS_8063	AXEKVCEY	221	240	417	93	0.125	0.113
OS_8063	OS_8067	AXEKVCEY	222	240	417	93	0.125	0.113
OS_8067	OS_8066	AXEKVCEY	186	240	417	93	0.125	0.113
OS_8066	OS_9240	ANKTOYPV	567	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	157	240	417	93	0.125	0.113
OS_9240	OS_7931	AXEKVCEY	240	240	417	93	0.125	0.113
OS_7931	OS_7930	AXEKVCEY	296	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	28	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	46	240	417	93	0.125	0.113
OS_7930	OS_OVFI	AXEKVCEY	49	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	247	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	177	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.11 – Parametry vedení linky vn869

vn869 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{Dov}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_9245	AXEKVCEY	363	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	789	240	353	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	34	240	417	93	0.125	0.113
OS_9245	OS_9201	AXEKVCEY	34	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	608	240	353	71	0.129	0.088
OS_9201	OS_9182	ANKTOYPV	539	240	353	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	59	240	417	93	0.125	0.113
OS_9182	OS_8060	AXEKVCEY	59	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	21	240	353	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	21	240	417	93	0.125	0.113
OS_8060	OS_9200	AXEKVCEY	274	240	417	93	0.125	0.113
OS_9200	OS_9199	AXEKVCEY	478	240	417	93	0.125	0.113
OS_9199	OS_7981	AXEKVCEY	738	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	104	240	353	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	135	240	417	93	0.125	0.113
OS_7981	OS_9198	AXEKVCEY	137	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	103	240	353	71	0.129	0.088
OS_9198	OS_7959	ANKTOYPV	398	240	353	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	59	240	417	93	0.125	0.113

vn869 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{Dov}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_7959	OS_0167	AXEKVCEY	60	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	88	240	353	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	87	240	417	93	0.125	0.113
OS_0167	OS_8069	AXEKVCEY	87	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	436	240	353	71	0.129	0.088
OS_8069	OS_9197	ANKTOYPV	645	240	353	71	0.129	0.088
OS_9197	OS_8059	ANKTOYPV	70	240	353	71	0.129	0.088
OS_8059	US_OS_3084	ANKTOYPV	460	240	353	71	0.129	0.088
		AlFe	9	120	357	107	0.234	0.361

Tab. 6.12 – Parametry vedení linky vn870

vn870 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{Dov}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_7855	AXEKVCEY	336	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	237	240	353	71	0.129	0.088
OS_7855	OS_7858	AXEKVCEY	707	240	417	93	0.125	0.113
OS_7858	OS_7985	AXEKVCEY	236	240	417	93	0.125	0.113
OS_7985	OS_7851	AXEKVCEY	248	240	417	93	0.125	0.113
OS_7851	OS_7984	AXEKVCEY	237	240	417	93	0.125	0.113
OS_7984	OS_9273	ANKTOYPV	207	240	353	71	0.129	0.088
OS_9273	OS_9266	ANKTOYPV	158	240	353	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	42	240	417	93	0.125	0.113
OS_9266	OS_9251	AXEKVCEY	34	240	417	93	0.125	0.113
		AXEKVCEY	225	240	417	93	0.125	0.113
		AXEKVCEY	186	240	417	93	0.125	0.113
OS_9251	OS_9194	AXEKVCEY	106	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	41	240	353	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	63	240	417	93	0.125	0.113
OS_9194	OS_9193	AXEKVCEY	62	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	120	240	353	71	0.129	0.088
OS_9193	OS_7877 (DE)	ANKTOYPV	295	240	353	71	0.129	0.088

Odbočkové vedení		Typ vedení	l	S	I_{Dov}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_7851	OS_7854	AXEKVCEY	429	240	417	93	0.125	0.113
OS_7854	OS_8041	AXEKVCEY	361	240	417	93	0.125	0.113
OS_8041	OS_8042	AXEKVCEY	44	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	328	240	357	71	0.129	0.088
OS_8042	OS_7855	AXEKVCEY	259	240	417	93	0.125	0.113
OS_7855	OS_OVFI	ANKTOYPV	237	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	337	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.13 – Parametry vedení linky vn871

vn871 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{Dov}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_7855	AXEKVCEY	337	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	237	240	353	71	0.129	0.088
OS_7855	OS_8042	AXEKVCEY	259	240	417	93	0.125	0.113
OS_8042	OS_8041	ANKTOYPV	328	240	353	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	44	240	417	93	0.125	0.113
OS_8041	OS_7854	AXEKVCEY	361	240	417	93	0.125	0.113
OS_7854	OS_7851	AXEKVCEY	429	240	417	93	0.125	0.113
OS_7851	OS_7984 (vn870)	AXEKVCEY	237	240	417	93	0.125	0.113
OS_7984	OS_9273	ANKTOYPV	207	240	353	71	0.129	0.088
OS_9273	OS_9266	ANKTOYPV	158	240	353	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	42	240	417	93	0.125	0.113
OS_9266	OS_9251	AXEKVCEY	34	240	417	93	0.125	0.113
		AXEKVCEY	225	240	417	93	0.125	0.113
		AXEKVCEY	186	240	417	93	0.125	0.113
OS_9251	OS_9194	AXEKVCEY	106	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	41	240	353	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	63	240	417	93	0.125	0.113
OS_9194	OS_9193	AXEKVCEY	62	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	120	240	353	71	0.129	0.088
OS_9193	OS_7877 (DE)	ANKTOYPV	295	240	353	71	0.129	0.088

Tab. 6.14 – Parametry vedení linky vn872

vn872 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{Dov}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_9237	AXEKVCEY	279	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	526	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	183	240	417	93	0.125	0.113
OS_9237	OS_8064	AXEKVCEY	183	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	82	240	357	71	0.129	0.088
OS_8064	OS_8071	ANKTOYPV	787	240	357	71	0.129	0.088
OS_8071	OS_8026	ANKTOYPV	377	240	357	71	0.129	0.088
OS_8026	OS_8020	AXEKVCEY	346	240	417	93	0.125	0.113
OS_8020	OS_7856	AXEKVCEY	82	240	417	93	0.125	0.113
OS_7856	OS_9276 (vn873)	ANKTOYPV	291	240	357	71	0.129	0.088
OS_9276	OS_OVFI	ANKTOYPV	1794	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	280	240	417	93	0.125	0.113

Odbočkové vedení		Typ vedení	l	S	I_{DOV}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_7856	OS_8011	AXEKVCEY	449	240	417	93	0.125	0.113
OS_8011	OS_8001	AXEKVCEY	210	240	417	93	0.125	0.113
OS_8001	OS_7929	AXEKVCEY	632	240	417	93	0.125	0.113
OS_7929	OS_9236	AXEKVCEY	691	240	417	93	0.125	0.113
OS_9236	OS_9031	AXEKVCEY	550	240	417	93	0.125	0.113
OS_9031	OS_7928	AXEKVCEY	125	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.15 – Parametry vedení linky vn873

vn873 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{DOV}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_9276	AXEKVCEY	280	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	1794	240	357	71	0.129	0.088
OS_9276	OS_7856	ANKTOYPV	291	240	357	71	0.129	0.088
OS_7856	OS_8020 (vn872)	AXEKVCEY	82	240	417	93	0.125	0.113
OS_8020	OS_8026	AXEKVCEY	346	240	417	93	0.125	0.113
OS_8026	OS_8071	ANKTOYPV	377	240	357	71	0.129	0.088
OS_8071	OS_8064	ANKTOYPV	787	240	357	71	0.129	0.088
OS_8064	OS_9237	ANKTOYPV	82	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	183	240	417	93	0.125	0.113
OS_9237	OS_OVFI	AXEKVCEY	183	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	526	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	279	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.16 – Parametry vedení linky vn882

vn882 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{DOV}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_9278	AXEKVCEY	181	240	417	93	0.125	0.113
OS_9278	OS_OVFI (vn883)	AXEKVCEY	180	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.17 – Parametry vedení linky vn883

vn883 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{DOV}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_9278	AXEKVCEY	181	240	417	93	0.125	0.113
OS_9278	OS_OVFI (vn883)	AXEKVCEY	180	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.18 – Parametry vedení linky vn1874

vn1874 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{DOV}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_0956 (NORA)	AXEKVCEY	2272	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.19 – Parametry vedení linky vn1903

vn1903 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{DOV}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_9278	AXEKVCEY	177	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	680	240	357	71	0.129	0.088
OS_9278	OS_OVFI (vn1904)	ANKTOYPV	679	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	175	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.20 – Parametry vedení linky vn1904

vn1904 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{DOV}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_9278	AXEKVCEY	175	240	417	93	0.125	0.113
		ANKTOYPV	679	240	357	71	0.129	0.088
OS_9278	OS_OVFI (vn1903)	ANKTOYPV	680	240	357	71	0.129	0.088
		AXEKVCEY	177	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.21 – Parametry vedení linky vn2071

vn2071 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{DOV}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_9294	AXEKVCEY	220	240	417	93	0.125	0.113
OS_9294	OS_9295	AXEKVCEY	141	240	417	93	0.125	0.113
OS_9295	OS_OVFI (vn2072)	AXEKVCEY	351	240	417	93	0.125	0.113

Tab. 6.22 – Parametry vedení linky vn2072

vn2072 – Úseky vedení		Typ vedení	l	S	I_{DOV}	K	R	X
Od	Do		(m)	(mm ²)	(A)	(-)	(Ω/km)	(Ω/km)
OS_OVFI	OS_9295	AXEKVCEY	220	240	417	93	0.125	0.113
OS_9295	OS_9294 (vn2071)	AXEKVCEY	141	240	417	93	0.125	0.113
OS_9294	OS_OVFI	AXEKVCEY	351	240	417	93	0.125	0.113

6.2 Výsledné hodnoty zkratových poměrů na jednotlivých úsecích vedení

Tab. 6.23 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn378

vn378 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	US_OS_3211	4.2	8.186	5.50
US_OS_3211	OS_9373	4.043	7.714	1.99
OS_9373	US_OS_3281	3.83	7.106	2.24
US_3281	US_OS_3011	3.324	5.782	2.64
US_OS_3011	US_OS_3115	3.096	5.24	4.74
US_OS_3115	OS_OVET	3.019	5.057	10.17

Odbočkové vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
US_OS_3281	US_OS_3009	3.603	6.489	2.64
US_OS_3009	US_OS_9379	3.348	5.84	3.16
		3.261	5.629	4.65
US_OS_9379	US_OS_3298	2.901	4.799	5
US_OS_3298	US_OS_3092	2.316	3.593	6.88
US_OS_3092	OS_ETBE	2.272	3.505	21.62

Tab. 6.24 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn379

vn379 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	US_OS_3212	4.2	8.185	5.50
US_OS_3212	US_OS_9390	4.043	7.714	1.99
US_OS_9390	US_OS_3282	3.832	7.111	2.24
US_OS_3282	US_OS_3010	3.325	5.782	2.63
US_OS_3010	US_OS_3117	3.097	5.241	4.74
US_OS_3117	OS_OVET	3.025	5.07	10.16

Odbočkové vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
US_OS_3282	US_OS_3016	3.603	6.489	2.63
US_OS_3016	US_OS_9377	3.349	5.841	3.16
		3.261	5.628	4.64
US_OS_9377	US_OS_3065	2.318	3.597	5
US_OS_3065	OS_ETBE	2.273	3.508	21.57

Tab. 6.25 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn859

vn859 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_0956 (NORA)	4.114	7.922	5.50
		3.981	7.524	7.63

Tab. 6.26 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn861

vn861 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_9238	4.336	8.606	5.50
OS_9238	OS_9005	4.231	8.278	6.46
OS_9005	OS_7929	4.179	8.117	6.99
OS_7929	OS_9236	4.049	7.724	7.27
OS_9236	OS_9031	3.948	7.429	8.03
OS_9031	OS_7928	3.926	7.364	8.68

Odbočkové vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_7929	OS_8001	4.309	7.757	7.27
OS_8001	OS_8011	4.268	7.642	7.96
OS_8011	OS_7856	4.181	7.403	8.20

Tab. 6.27 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn862

vn862 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_CLOU	4.379	8.744	5.50
		4.045	7.699	3.65
		3.82	7.044	8.08
		3.749	6.841	5.62

Tab. 6.28 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn866

vn866 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_8004	4.4	8.809	5.50
		4.268	8.392	3.60
		4.234	8.285	6.80
OS_8004	OS_8005	4.199	8.178	6.98
		4.166	8.072	4.17
		4.16	8.056	7.35
OS_8005	OS_8007	4.155	8.041	7.38
		4.148	8.018	4.32
		4.142	7.999	7.45
OS_8007	OS_8227	4.135	7.978	7.48
		4.117	7.923	4.38
		4.103	7.879	7.63
OS_8227	OS_8006	4.089	7.838	7.71
		4.075	7.797	4.54
		4.047	7.711	7.88
OS_8006	OS_8055	4.019	7.628	8.05
		3.995	7.556	4.80
OS_8055	OS_9380	3.95	7.424	4.89
		3.949	7.419	8.69
OS_9380	OS_8054	3.943	7.402	8.70
OS_8054	OS_9388	3.912	7.31	5.09

Odbočkové vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_8055	OS_8053	3.97	7.484	4.89
OS_8053	OS_8739	3.928	7.357	4.98
		3.919	7.329	8.85
OS_8739	OS_0138	3.909	7.301	8.91
OS_0138	OS_0119	3.904	7.288	8.98
		3.871	7.19	5.25
		3.825	7.058	9.26
OS_0119	OS_9381	3.762	6.882	9.61
OS_9381	OS_7997	3.739	6.818	10.11
		3.706	6.725	6
		3.681	6.656	10.59
OS_7997	OS_7996	3.651	6.576	10.81
OS_7996	OS_9383	3.622	6.498	11.07
OS_9383	OS_9384	3.618	6.488	11.34
		3.57	6.357	6.63

Tab. 6.29 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn867

vn867 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_7930	4.4	8.809	5.50
		4.361	8.686	3.60
		4.351	8.655	6.35
OS_7930	OS_7931	4.342	8.626	6.39
		4.338	8.612	3.75
		4.279	8.428	6.46
OS_7931	OS_9240	4.232	8.282	6.74
OS_9240	OS_8066	4.202	8.188	6.98
		4.115	7.92	4.16
OS_8066	OS_8067	4.08	7.814	7.63
OS_8067	OS_8063	4.039	7.69	7.84
OS_8063	OS_8070	3.998	7.568	8.10
OS_8070	OS_8062	3.924	7.352	8.36
OS_8062	OS_7857 (vn868)	3.89	7.254	8.86
OS_7857	OS_8068	3.859	7.166	9.10
OS_8068	OS_OVFI	3.677	6.657	9.32
		3.648	6.579	10.81

Tab. 6.30 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn868

vn868 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_8068	4.4	8.81	5.50
		4.189	8.15	6.17
OS_8068	OS_7857	4.156	8.049	7.21
OS_7857	OS_8062	4.12	7.939	7.39
OS_8062	OS_8070 (vn867)	4.044	7.711	7.60
OS_8070	OS_8063	4.004	7.59	8.05
OS_8063	OS_8067	3.963	7.472	8.31
OS_8067	OS_8066	3.93	7.375	8.58
OS_8066	OS_9240	3.85	7.138	5.13
		3.822	7.06	9.40
OS_9240	OS_7931	3.78	6.944	9.61
OS_7931	OS_7930	3.73	6.805	9.93
		3.727	6.795	6.03
		3.719	6.773	10.37
OS_7930	OS_OVFI	3.71	6.751	10.44
		3.677	6.657	6.12
		3.648	6.579	10.80

Tab. 6.31 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn869

vn869 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_9245	4.363	8.691	5.50
		4.24	8.302	3.70
		4.233	8.282	6.95
OS_9245	OS_9201	4.226	8.261	6.98
		4.132	7.969	4.09
OS_9201	OS_9182	4.05	7.716	4.40
		4.039	7.683	8.04
OS_9182	OS_8060	4.028	7.65	8.11
		4.025	7.64	4.77
		4.021	7.629	8.20
OS_8060	OS_9200	3.97	7.479	8.23
OS_9200	OS_9199	3.883	7.227	8.56
OS_9199	OS_7981	3.755	6.863	9.17
		3.74	6.822	5.93
		3.717	6.759	10.29
OS_7981	OS_9198	3.694	6.696	10.48
		3.68	6.656	6.23
OS_9198	OS_7959	3.626	6.507	6.30
		3.617	6.482	11.31
OS_7959	OS_0167	3.607	6.456	11.40
		3.595	6.424	6.70
		3.581	6.387	11.60
OS_0167	OS_8069	3.567	6.35	11.74
		3.51	6.198	6.92
OS_8069	OS_9197	3.428	5.982	7.27
OS_9197	OS_8059	3.419	5.96	7.80
OS_8059	US_OS_3084	3.362	5.813	7.86
		3.359	5.804	4.69

Tab. 6.32 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn870

vn870 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_7855	4.368	8.708	5.50
		4.331	8.59	3.68
OS_7855	OS_7858	4.193	8.16	6.49
OS_7858	OS_7985	4.147	8.021	7.19
OS_7985	OS_7851	4.101	7.879	7.44
OS_7851	OS_7984	4.056	7.746	7.71
OS_7984	OS_9273	4.026	7.653	4.65
OS_9273	OS_9266	4.002	7.583	4.77
		3.994	7.56	8.33

vn870 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_9266	OS_9251	3.988	7.542	8.38
		3.947	7.422	8.42
		3.914	7.325	8.69
OS_9251	OS_9194	3.895	7.27	8.92
		3.889	7.253	5.28
		3.878	7.221	9.10
OS_9194	OS_9193	3.867	7.19	9.18
		3.85	7.14	5.40
OS_9193	OS_7877 (DE)	3.808	7.02	5.47

Odbočkové vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_7851	OS_7854	3.814	7.64	7.71
OS_7854	OS_8041	3.753	7.447	8.20
OS_8041	OS_8042	3.745	7.424	8.63
		3.7	7.284	5.06
OS_8042	OS_7855	3.658	7.153	9.02
OS_7855	OS_OVFI	3.626	7.056	5.45
		3.572	6.894	9.62

Tab. 6.33 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn871

vn871 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_7855	4.368	8.707	5.50
		4.331	8.59	3.68
OS_7855	OS_8042	4.28	8.429	6.49
OS_8042	OS_8041	4.229	8.27	3.93
		4.22	8.243	7.00
OS_8041	OS_7854	4.151	8.029	7.05
OS_7854	OS_7851	4.069	7.784	7.43
OS_7851	OS_7984 (vn870)	4.025	7.652	7.90
OS_7984	OS_9273	3.995	7.56	4.77
OS_9273	OS_9266	3.971	7.49	4.88
		3.964	7.468	8.53
OS_9266	OS_9251	3.958	7.45	8.59
		3.917	7.332	8.63
		3.884	7.236	8.91
OS_9251	OS_9194	3.865	7.182	9.15
		3.859	7.165	5.41
		3.848	7.134	9.33
OS_9194	OS_9193	3.838	7.103	9.41
		3.821	7.054	5.53
OS_9193	OS_7877 (DE)	3.779	6.935	5.61

Tab. 6.34 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn872

vn872 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_9237	4.379	8.744	5.50
		4.297	8.483	3.65
		4.261	8.37	6.65
OS_9237	OS_8064	4.225	8.259	6.83
		4.213	8.219	4.09
OS_8064	OS_8071	4.092	7.846	4.13
OS_8071	OS_8026	4.035	7.672	4.53
OS_8026	OS_8020	3.971	7.482	8.14
OS_8020	OS_7856	3.955	7.438	8.55
OS_7856	OS_9276 (vn873)	3.913	7.311	5.05
OS_9276	OS_OVFI	3.657	6.582	5.22
		3.611	6.458	11.05

Odbočkové vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_7856	OS_8011	3.875	7.203	8.66
OS_8011	OS_8001	3.838	7.097	9.23
OS_8001	OS_7929	3.729	6.793	9.51
OS_7929	OS_9236	3.615	6.482	10.38
OS_9236	OS_9031	3.528	6.251	11.40
OS_9031	OS_7928	3.508	6.201	12.25

Tab. 6.35 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn873

vn873 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_9276	4.379	8.743	5.50
		4.1	7.869	3.65
OS_9276	OS_7856	4.056	7.733	4.51
OS_7856	OS_8020 (vn872)	4.04	7.686	8.01
OS_8020	OS_8026	3.976	7.495	8.10
OS_8026	OS_8071	3.92	7.329	4.97
OS_8071	OS_8064	3.805	6.995	5.20
OS_8064	OS_9237	3.793	6.961	5.70
		3.762	6.872	9.88
OS_9237	OS_OVFI	3.73	6.785	10.14
		3.657	6.581	6.06
		3.611	6.458	11.06

Tab. 6.36 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn882

vn882 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_9278	4.399	8.806	5.50
OS_9278	OS_OVFI (vn883)	4.363	8.692	6.17

Tab. 6.37 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn883

vn883 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_9278	4.399	8.806	5.50
OS_9278	OS_OVFI (vn883)	4.363	8.692	6.17

Tab. 6.38 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn1874

vn1874 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_0956 (NORA)	3.998	7.574	5.50

Tab. 6.39 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn1903

vn1903 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_9278	4.4	8.809	5.50
		4.293	8.47	3.60
OS_9278	OS_OVFI (vn1904)	4.187	8.137	3.89
		4.153	8.033	7.23

Tab. 6.40 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn1904

vn1904 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_9278	4.4	8.81	5.50
		4.294	8.472	3.60
OS_9278	OS_OVFI (vn1903)	4.188	8.139	3.89
		4.153	8.033	7.23

Tab. 6.41 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn2071

vn2071 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_9294	4.391	8.781	5.50
OS_9294	OS_9295	4.363	8.692	6.21
OS_9295	OS_OVFI (vn2072)	4.294	8.474	6.34

Tab. 6.42 – Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn2072

vn2072 – Úseky vedení		I''_{k2min}	I''_{k3min}	t_{vyp}
Od	Do	(kA)	(kA)	(s)
OS_OVFI	OS_9295	4.391	8.781	5.50
OS_9295	OS_9294 (vn2071)	4.363	8.692	6.21
OS_9294	OS_OVFI	4.294	8.474	6.34

7. Návrh nastavení elektrických ochran pro rozvodnu

Nastavení elektrických ochran v rozvodně Fifejdy je zaměřeno na nadproudové ochrany typu SIPROTEC 7SJ632, které chrání jednotlivé vývody a transformátory 110/22 kV, zatímco ochrany typu SIPROTEC 7SJ645 chrání podélné a příčné spojky přípojníc. Jednotlivá vedení jsou chráněna nadproudovými, časově nezávislými nesměrovými ochranami, výjimku tvoří pouze vedení vn378, vn379 a vn862, které jsou vybaveny směrovými ochranami. Použití směrových ochran je z důvodu rozlišení směru do vedení a z vedení kvůli vzájemnému zálohování rozvodu, protože nastavení nadproudových ochran v rozvodně Fifejdy musí respektovat časy nadproudových ochran odchozích vedení z rozvodny Teplárna Ostrava a rozvodny Černá Louka. U nastavení ochran se rozlišují dva stupně:

- Nadproudový
- Zkratový

7.1 Nadproudový stupeň

Pro nastavení nadproudového stupně proti přetížení musí platit vztah:

$$I_{r \min} \geq \frac{k_b}{k_p \cdot p_i} \cdot I_{DOV} \quad (7.1)$$

kde: k_b je koeficient bezpečnosti návratu ochrany do klidové ochrany.

k_p je přídržný poměr ochrany udávaný výrobcem.

p_i je jmenovitý proudový převod jisticího transformátoru proudu

I_{DOV} je maximální dovolený proud vedení.

Jako maximální dovolený proud linky je vždy uvažován maximální dovolený zatěžovací proud nejslabšího úseku vedení. Velikost koeficientu bezpečnosti návratu ochrany do klidové polohy k_b se volí 1,2 pro venkovní vedení, zatímco pro kabelové vedení se udává hodnota 1,05 z důvodu větší citlivosti na přetížení kabelu. Hodnota přídržného poměru ochrany k_p se udává 0,95. Následně je nutné provést kontrolu pro PTP. Výrobce uvádí, že PTP je možno trvale zatěžovat na 120 % jmenovitého proudu. Převody p_i použitých PTP u jednotlivých vývodů jsou 400/1.

7.2 Zkratový stupeň

Pro nastavení zkratového stupně musí platit vztah:

$$I_{r \max} < \frac{I_{k \min}''}{k_c \cdot p_i} \quad (7.2)$$

Kde: k_c je koeficient citlivosti nadproudových ochran (pro digitální ochrany se volí hodnota $\geq 1,2$).

p_i je jmenovitý proudový převod JTP.

$I_{k \min}''$ je minimální hodnota zkratového proudu na vedení.

Výsledné minimální hodnoty zkratových proudů nutné pro nastavení zkratových stupňů jsou vidět v tab. 7. 1. pro každou vývodou linku.

Tab. 7.1. Hodnoty pro nastavení nadproudových ochran

	I_{DOV}	Převod PTP	$I_{k2\ min}$	k_b	k_p
Vedení	(A)		(kA)	(-)	(-)
vn378	236	400/1	3.019	1.05	0.95
vn379	236	400/1	3.025	1.05	0.95
vn859	417	400/1	3.981	1.05	0.95
vn861	417	400/1	3.926	1.05	0.95
vn862	353	400/1	3.749	1.05	0.95
vn866	357	400/1	3.912	1.05	0.95
vn867	357	400/1	3.648	1.05	0.95
vn868	357	400/1	3.648	1.05	0.95
vn869	353	400/1	3.359	1.05	0.95
vn870	353	400/1	3.808	1.05	0.95
vn871	353	400/1	3.779	1.05	0.95
vn872	357	400/1	3.611	1.05	0.95
vn873	357	400/1	3.611	1.05	0.95
vn882	417	400/1	4.363	1.05	0.95
vn883	417	400/1	4.363	1.05	0.95
vn1874	417	400/1	3.998	1.05	0.95
vn1903	357	400/1	4.153	1.05	0.95
vn1904	357	400/1	4.153	1.05	0.95
vn2071	417	400/1	4.294	1.05	0.95
vn2072	417	400/1	4.294	1.05	0.95

Nastavení pro vedení vn378:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 236 = 260,84\ A \approx 270\ A$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{270}{400/1} = 0,675\ A$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3019}{1,2} = 2515,83\ A \approx 2510\ A$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{2510}{400/1} = 6,275\ A$$

Nastavení pro vedení vn379:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 236 = 260,84\text{ A} \approx 270\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{270}{400/1} = 0,675\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3025}{1,2} = 2520,83\text{ A} \approx 2520\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{2520}{400/1} = 6,3\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn859:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,89\text{ A} \approx 470\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{470}{400/1} = 1,175\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3981}{1,2} = 3317,5\text{ A} \approx 3310\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3310}{400/1} = 8,275\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn861:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,89\text{ A} \approx 470\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{470}{400/1} = 1,175\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3926}{1,2} = 3271,67\text{ A} \approx 3270\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3270}{400/1} = 8,175\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn862:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 353 = 390,16\text{ A} \approx 400\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{400}{400/1} = 1\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3749}{1,2} = 3124,17\text{ A} \approx 3120\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3120}{400/1} = 7,8\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn866:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 357 = 394,58\text{ A} \approx 400\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{400}{400/1} = 1\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3912}{1,2} = 3260\text{ A} \approx 3250\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3250}{400/1} = 8,125\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn867:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 357 = 394,58\text{ A} \approx 400\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{400}{400/1} = 1\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3648}{1,2} = 3040\text{ A} \approx 3030\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3030}{400/1} = 7,575\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn868:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 357 = 394,58\text{ A} \approx 400\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{400}{400/1} = 1\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3648}{1,2} = 3040\text{ A} \approx 3030\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3030}{400/1} = 7,575\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn869:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 353 = 390,16\text{ A} \approx 400\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{400}{400/1} = 1\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3359}{1,2} = 2799,17\text{ A} \approx 2790\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{2790}{400/1} = 6,975\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn870:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 353 = 390,16\text{ A} \approx 400\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{400}{400/1} = 1\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3808}{1,2} = 3173,33\text{ A} \approx 3170\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3170}{400/1} = 7,925\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn871:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 353 = 390,16\text{ A} \approx 400\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{400}{400/1} = 1\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3779}{1,2} = 3149,17\text{ A} \approx 3140\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3140}{400/1} = 7,85\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn872:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 357 = 394,58\text{ A} \approx 400\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{400}{400/1} = 1\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3611}{1,2} = 3009,17\text{ A} \approx 3000\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3000}{400/1} = 7,5\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn873:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 357 = 394,58\text{ A} \approx 400\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{400}{400/1} = 1\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{3611}{1,2} = 3009,17\text{ A} \approx 3000\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3000}{400/1} = 7,5\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn882:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,89\text{ A} \approx 470\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{470}{400/1} = 1,175\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{4363}{1,2} = 3635,83\text{ A} \approx 3630\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3630}{400/1} = 9,075\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn883:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,89\text{ A} \approx 470\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{470}{400/1} = 1,175\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2 \text{ prim}} < \frac{I_{k2 \text{ min}}}{k_c} = \frac{4363}{1,2} = 3635,83 \text{ A} \approx 3630 \text{ A}$$

$$I_{r2 \text{ sek}} = \frac{I_{k2 \text{ min}}}{p_i} = \frac{3630}{400/1} = 9,075 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn1874:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1 \text{ prim}} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,89 \text{ A} \approx 470 \text{ A}$$

$$I_{r1 \text{ sek}} = \frac{I_{r1 \text{ prim}}}{p_i} = \frac{470}{400/1} = 1,175 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2 \text{ prim}} < \frac{I_{k2 \text{ min}}}{k_c} = \frac{3998}{1,2} = 3331,67 \text{ A} \approx 3330 \text{ A}$$

$$I_{r2 \text{ sek}} = \frac{I_{k2 \text{ min}}}{p_i} = \frac{3330}{400/1} = 8,325 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn1903:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1 \text{ prim}} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 357 = 394,58 \text{ A} \approx 400 \text{ A}$$

$$I_{r1 \text{ sek}} = \frac{I_{r1 \text{ prim}}}{p_i} = \frac{400}{400/1} = 1 \text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2 \text{ prim}} < \frac{I_{k2 \text{ min}}}{k_c} = \frac{4153}{1,2} = 3460,83 \text{ A} \approx 3460 \text{ A}$$

$$I_{r2 \text{ sek}} = \frac{I_{k2 \text{ min}}}{p_i} = \frac{3460}{400/1} = 8,65 \text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn1904:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 357 = 394,58\text{ A} \approx 400\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{400}{400/1} = 1\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{4153}{1,2} = 3460,83\text{ A} \approx 3460\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3460}{400/1} = 8,65\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn2071:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,89\text{ A} \approx 470\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{470}{400/1} = 1,175\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{4294}{1,2} = 3578,33\text{ A} \approx 3570\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3570}{400/1} = 8,925\text{ A}$$

Nastavení pro vedení vn2072:

Rozběhový proud pro nadproudový stupeň:

$$I_{r1\ prim} \geq \frac{k_b}{k_p} \cdot I_{DOV} = \frac{1,05}{0,95} \cdot 417 = 460,89\text{ A} \approx 470\text{ A}$$

$$I_{r1\ sek} = \frac{I_{r1\ prim}}{p_i} = \frac{470}{400/1} = 1,175\text{ A}$$

Rozběhový proud pro zkratový stupeň:

$$I_{r2\ prim} < \frac{I_{k2\ min}}{k_c} = \frac{4294}{1,2} = 3578,33\text{ A} \approx 3570\text{ A}$$

$$I_{r2\ sek} = \frac{I_{k2\ min}}{p_i} = \frac{3570}{400/1} = 8,925\text{ A}$$

Tab. 7.2. Tabulka výsledných hodnot pro nastavení nesměrových nadproudových ochran

Vedení	Nadproudový stupeň					Zkratový stupeň			
	PTP	I_{DOV}	$I_{r1\ prim}$	$I_{r1\ sek}$	t_{vyp}	$I_{k2\ min}$	$I_{r2\ prim}$	$I_{r2\ sek}$	t_{vyp}
	(-)	(A)	(A)	(A)	(s)	(kA)	(A)	(A)	(s)
vn378	400/1	236	270	0.675	0.6	3.019	2510	6.275	0
vn379	400/1	236	270	0.675	0.6	3.025	2520	6.3	0
vn859	400/1	417	470	1.175	1	3.981	3310	8.275	0.2
vn861	400/1	417	470	1.175	0.6	3.926	3270	8.175	0
vn862	400/1	353	400	1	0.6	3.749	3120	7.8	0
vn866	400/1	357	400	1	0.6	3.912	3250	8.125	0
vn867	400/1	357	400	1	0.6	3.648	3030	7.575	0
vn868	400/1	357	400	1	0.6	3.648	3030	7.575	0
vn869	400/1	353	400	1	0.6	3.359	2790	6.975	0
vn870	400/1	353	400	1	0.6	3.808	3170	7.925	0
vn871	400/1	353	400	1	0.6	3.779	3140	7.85	0
vn872	400/1	357	400	1	0.6	3.611	3000	7.5	0
vn873	400/1	357	400	1	0.6	3.611	3000	7.5	0
vn882	400/1	417	470	1.175	0.6	4.363	3630	9.075	0
vn883	400/1	417	470	1.175	0.6	4.363	3630	9.075	0
vn1874	400/1	417	470	1.175	1	3.998	3330	8.325	0.2
vn1903	400/1	357	400	1	0.6	4.153	3460	8.65	0
vn1904	400/1	357	400	1	0.6	4.153	3460	8.65	0
vn2071	400/1	417	470	1.175	0.6	4.294	3570	8.925	0
vn2072	400/1	417	470	1.175	0.6	4.294	3570	8.925	0
SP1	2000/1	2400	2400	1.2	1.4	-	4000	2	0.2
PSP1	2000/1	2400	2400	1.2	1.4	-	4000	2	0.2
SP2	2000/1	2400	2400	1.2	1.4	-	4000	2	0.2
PSP2	2000/1	2400	2400	1.2	1.4	-	4000	2	0.2
TVS1	100/1	9.24	9.24	0.0924	0.9	-	1080	10.8	0
TVS2	100/1	9.24	9.24	0.0924	0.9	-	1080	10.8	0

7.3 Nastavení nadproudových ochran pro SP1, PSP1, SP2 a PSP2:

Pro určení dovoleného proudu pro SP1, PSP1, SP2 a PSP2 musí platit vztah:

$$I_{DOV} = 1,2 \cdot PTP \quad (7.3)$$

Ve všech případech je dovolený proud u spojek 2400 A. Převod PTP je rovněž stejný, a to konkrétně 2000/1. Rozběhový proud ochrany je nastaven na hodnotu 2400 A. Na sekundární straně PTP tomu odpovídá hodnota 1,2 A. Nadproudové stupně musí přenést plný výkon transformátoru a z hlediska vypínacího času musí být ochrana spojek zpožděna oproti ochranám na vývodech. Na ochranách spojek je zvolen vypínací čas 1,4 s. Zkratové ochrany se nastavují nad zkratovými ochranami odchozích vedení. Čas se nastavuje na 0,2 s, protože se používá LOR – logická ochrana rozvodny. Pokud naběhne zkratový stupeň libovolné ochrany vývodu, zablokuje zkratový stupeň SP, PSP a transformátoru své sekce. Tento zkratový stupeň se tedy uplatní pouze v případě zkratu přímo na přípojnicí. Pro zajištění selektivity jsou rozběhové proudy odstupňovány na hodnoty 4000 A. Při převodech PTP 2000/1 jsou na ochranách nastaveny hodnoty rozběhových proudů 2 A pro všechny spojky.

7.4 Nastavení nadproudových ochran pro TVS1 a TVS2

Dovolený proud sekundárních vývodů obou transformátorů vlastní spotřeby je v obou případech 9,24 A. Převod PTP je 100/1. Pro TVS1 a TVS2 platí, že rozběhové proudy jejich ochran jsou dány maximálním dovoleným proudem, v tomto případě 9,24 A. Při převodu PTP 100/1 se ochrana transformátorů nastaví na hodnotu 0,0924 A. Nadproudový stupeň se nastavuje na cca 140 % I_N transformátoru s časem do 1 s. Zkratový stupeň se nastavuje na cca 120 % maximálního zkratového proudu, pokud je zkrat na straně nn. Zkratový stupeň tedy s jistotou naběhne jen na zkraty v TVS. Z praxe lze ochrany nastavit na hodnotu zkratového proudu 900 A, jelikož proudy, které dosahují vyšších hodnot jsou považovány jako zkrat. Rozběhové proudy jsou u obou TVS 1080 A. Na ochranách jsou při převodech PTP 100/1 nastaveny hodnoty rozběhových proudů 10,8 A.

7.5 Nastavení zemních směrových ochran

Nastavení zemních směrových ochran vychází z jednotného nastavení pro všechny zemní směrové ochrany, je to z důvodu zjednodušení výpočtů a nepřesnosti měření. V případě nastavení ochran, které pracují na wattmetrické metodě, se nastavuje zbytkové napětí U_0 na hodnotu 15 V. Z toho plyne, že popudová hodnota napětí uzlu proti zemi je 15 % jmenovitého napětí sítě. Další parametr se nastavuje nulový proud I_0 , který se zadává na 2 A. U nastavení konduktančních ochran se zadává stejné zbytkové napětí, tedy $U_0 = 15$ V. Pro převod PTP 400/5 A vyhovuje nastavená konduktance $G_0 = 2$ mS. V případě většího převodu PTP se nastaví konduktance na hodnotu 1 mS. Časové zpoždění se nastavuje od 0,15 do 0,20 s. [7]

7.6 Nastavení automatiky opětného zapnutí

U kabelových vedení je vznik přechodné poruchy nepravděpodobný, a proto je v tomto případě použití opětného zapínání neúčelné. [4]

8. Závěr

Diplomová práce se zabývá návrhem a nastavením elektrických ochran pro spínací stanici 22 kV Fifejdy. V úvodní části je charakterizován řešený problém. Teoretická část má kompilační charakter, jenž popisuje základní pojmy a typy ochran, se kterými se lze setkat. Samostatnou kapitolu tvoří výpočet zkratových proudů v elektrizační soustavě podle ČSN EN 60909-0, která přináší ucelený pohled na výpočet zkratových proudů v trojfázových střídavých soustavách.

Praktická část obsahuje popis stávajícího a současného stavu rozvodny 22 kV Fifejdy. V souvislosti s narůstajícím odběrem elektrické energie v centru Ostravy, bude vybudována nová budova společných provozů společně s R 22 kV navazující na vnitřní rozvodnu 110 kV se zapouzdřeným rozvaděčem 110 kV. Dále dojde k modernizaci ochran, které nahradí staré nadproudové ochrany AT31X, zkratové ochrany A32DX a zemní ochrany GSC, tyto ochrany byly shledány za nevyhovující, jelikož nemají potřebné funkce oproti digitálním ochranám. Nové ochrany pro chránění rozvodných polí 22 kV budou multifunkční ochrany SIPROTEC 7SJ632 od firmy Siemens a pro chránění podélné a příčné spojky přípojníc bude použita multifunkční ochrana SIPROTEC 7SJ645. Následně bude nainstalován i nový řídicí systém SICAM PAS, který bude komunikovat se všemi ochranami. V neposlední řadě bude rozvodna 110/22 kV bez trvalé obsluhy, protože je koncipována s možností dálkového řízení a ovládání.

V následující kapitole je stanoven výpočet zkratových poměrů na vývodech z rozvodny 22 kV Fifejdy. Zkratové poměry jsou počítány pro každý úsek vedení, vzorový výpočet je proveden pro vedení VN378, ostatní úseky vedení jsou počítány analogicky, z toho je patrné, že není důvod uvádět postup všech výpočtů. Kompletní výsledky jsou uvedeny v tabulkách v šesté kapitole. Pro správné nastavení ochran je důležité přesně určit maximální a minimální zkratové proudy v jednotlivých vývodech rozvodny. Maximální zkratový proud je nutný pro výpočet maximálního vypínacího času, do kterého musí ochrana při zkratu zareagovat a určení minimálního zkratového proudu slouží k nastavení zkratového stupně nadproudové ochrany.

Závěrečná kapitola se věnuje výpočtům nadproudového a zkratového stupně pro jednotlivá vedení. Minimální hodnoty zkratových proudů nutné pro nastavení zkratových stupňů jsou uvedeny v tab. 7.1 pro každý úsek vedení, ovšem teoreticky se ochrany mohou nastavit na stejnou hodnotu zkratového proudu, a to konkrétně 900 A, jelikož proudy, které jsou vyšší nad touto hodnotou jsou vyvolané v důsledku zkratu. Vedení VN859 a VN1874 slouží pro napájení spínací stanice OS_0956 (Nová Radnice). V tomto případě je nutné prodloužit vypínací časy u těchto vedení, jelikož musí být zajištěna správná selektivita. Vedení VN378, VN379 plní funkci záložního vedení pro vzájemné zálohování mezi R110/22 kV Fifejdy a R110/22 kV Teplárna Ostrava, zároveň slouží pro zálohování obou rozveden z R110/22 kV Třebovice, proto musí být chráněny směrovou ochranou. Vedení VN862 slouží pro vzájemnou zálohu s R110/22 kV Černá Louka, ovšem toto vedení nemůže zálohovat celý výkon a musí být rovněž vybaveno směrovou ochranou. Ostatní úseky vedení jsou chráněny nadproudovými nesměrovými ochranami. Výsledky jsou uvedeny v tab. 7.2.

Literatura:

- [1] Hradílek, Z.: *Elektroenergetika distribučních a průmyslových sítí.*, skriptu VŠB Ostrava, 2008
- [2] Dohnálek, Petr: *Ochrany pro průmysl a energetiku*, Praha, SNTL, 1991
- [3] ČSN EN 60909-0. *Zkratové proudy v trojfázových střídavých soustavách.* Praha: Český normalizační institut, 2002
- [4] Medvec, Z.: *Ochrany a automatiky v rozvodu*, VŠB Ostrava 2001
- [5] Haluzík, E: *Ochrany a automatiky v elektrických sítích*, Brno: Skriptum VUT, 1985
- [6] Chladný, Vl., Hudák, D.: *Ochrany v elektrizačních sítích*, Bratislava: Skriptum ALFA, 1977
- [7] Blokša, M.: *Indikace zemního spojení v sítích vn*, Konference ČK CIRED, 2005
- [8] *MPP pro spínací stanici Fifejdy 22 kV.* Místní provozní předpisy stanice ČEZ distribuce, a.s. Ostrava: EnergoCoreService,s.r.o, 2010.
- [9] PONCZA, M. – RICHTERK, J. *Fifejdy – stavba nové R100/22 kV.* Zadávací návrh stavby pro ČEZ distribuce, a.s. Ostrava: Odbor Rozvoj sítí, 2009.
- [10] SIEMENS: *Technická manuál – Multifunkční ochrana s řízením 7SJ62/63/64*, 2005.
- [11] *Zkrat v elektrických rozvodech nn.* [online]. 2007, č. 7. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/download/elektro/2007/el060742.pdf>

Seznam obrázků

Obr. č. 2.1 - Spolupráce ochrany a chráněného objektu.....	16
Obr. č. 2.2 - Princip uzavřené smyčky chránění	17
Obr. č. 2.3 - Měření úrovně amplitudovým členem	21
Obr. č. 2.4 - Charakteristika závislého měřicího členu, x_{∞} je trvale dovolená velikost vstupního proudu	23
Obr. č. 2.5 - Charakteristika rozdílového měřicího členu	23
Obr. č. 2.6 - Charakteristika amplitudového komparátoru.....	25
Obr. č. 2.7 - Charakteristika fázového komparátoru	25
Obr. č. 2.8 - Stavový prostor chráněného objektu.....	30
Obr. č. 2.9 - Vypínací plán závislých nadproudových ochran	37
Obr. č. 2.10 - Vypínací plán nezávislých nadproudových ochran	38
Obr. č. 2.11 - Charakteristika nadproudových ochran	40
Obr. č. 2.12 - Charakteristika distančních ochran	42
Obr. č. 2.13 - Charakteristika rozdílové ochrany	44
Obr. č. 2.14 - Charakteristika fázové srovnávací ochrany	44
Obr. č. 2.15 - Zjednodušené schéma vedení se zemní poruchou	46
Obr. č. 2.16 - Napěťové a proudové poměry při zemním spojení.....	46
Obr. č. 2.17 - Náhradní schéma dle Théveninovy metody pro zemní poruchu.....	47
Obr. č. 2.18 - Náhradní schéma zapojení pro zemní poruchu při plné kompenzaci sítě...	47
Obr. č. 3.1 - Sousedná složka zkratové impedance $Z_{(1)}$	50
Obr. č. 3.2 - Zpětná složka zkratové impedance $Z_{(2)}$	50
Obr. č. 3.3 - Netočivá složka zkratové impedance $Z_{(0)}$	51
Obr. č. 3.4 - Schéma soustavy a ekvivalentní náhradní schéma pro síťového napáječe bez transformátoru	53
Obr. č. 3.5 - Schéma soustavy a ekvivalentní náhradní schéma pro síťového napáječe s transformátorem	54
Obr. č. 3.6a - Označení zapojení vinutí.....	57
Obr. č. 3.6b - Náhradní schéma (sousedné složkové soustavy)	57
Obr. č. 3.6 - Trojvinutový transformátor	57
Obr. č. 3.7 - Součinitel κ pro sériové obvody jako funkce poměru R/X nebo X/R	64
Obr. č. 6.1 - Schéma linky vn378.....	83

Seznam tabulek

Tab. č. 2.1 - Rozdělení ochran podle jednotlivých kritérií.....	34
Tab. č. 3.1 - Napěťový součinitel c	52
Tab. č. 4.1 - Specifikace transformátoru 50 MVA	69
Tab. č. 4.2 - Specifikace zhášecí tlumivky ASR 5.0	70
Tab. č. 4.3 - Specifikace sekundárního odporníku SR 1000/6	70
Tab. č. 4.4 - Specifikace odpojovačů SERW	70
Tab. č. 4.5 - Specifikace transformátorů vlastní spotřeby vn/nn TVS1 a TVS2	71
Tab. č. 4.6 - Parametry distribuční sítě vvn	71
Tab. č. 4.7 - Parametry rozvaděče 110 kV	72
Tab. č. 4.8 - Parametry distribuční sítě vn	72
Tab. č. 4.9 - Parametry rozvaděče 22 kV	73
Tab. č. 4.10 - Ochrany stávajícího stavu rozvodny	74
Tab. č. 6.1 - Zkratové hodnoty rozvodny Fifejdy 110/22 kV	80
Tab. č. 6.2 - Parametry transformátorů T101 a T102.....	80
Tab. č. 6.3 - Parametry vedení linky vn378	87
Tab. č. 6.4 - Parametry vedení linky vn379	87
Tab. č. 6.5 - Parametry vedení linky vn859	87
Tab. č. 6.6- Parametry vedení linky vn861	88
Tab. č. 6.7 - Parametry vedení linky vn862.....	88
Tab. č. 6.8 - Parametry vedení linky vn866.....	88
Tab. č. 6.9 - Parametry vedení linky vn867.....	89
Tab. č. 6.10 - Parametry vedení linky vn868	90
Tab. č. 6.11 - Parametry vedení linky vn869	90
Tab. č. 6.12 - Parametry vedení linky vn870	91
Tab. č. 6.13 - Parametry vedení linky vn871	92
Tab. č. 6.14 - Parametry vedení linky vn872	92
Tab. č. 6.15 - Parametry vedení linky vn873	93
Tab. č. 6.16 - Parametry vedení linky vn882	93
Tab. č. 6.17 - Parametry vedení linky vn883	93
Tab. č. 6.18 - Parametry vedení linky vn1874	93
Tab. č. 6.19 - Parametry vedení linky vn1903	94
Tab. č. 6.20 - Parametry vedení linky vn1904	94

Tab. č. 6.21 - Parametry vedení linky vn2071	94
Tab. č. 6.22 - Parametry vedení linky vn2072	94
Tab. č. 6.23 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn378	95
Tab. č. 6.24 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn379	95
Tab. č. 6.25 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn859	96
Tab. č. 6.26 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn861	96
Tab. č. 6.27 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn862	96
Tab. č. 6.28 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn866	97
Tab. č. 6.29 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn867	98
Tab. č. 6.30 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn868	98
Tab. č. 6.31 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn869	99
Tab. č. 6.32 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn870	99
Tab. č. 6.33 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn871	100
Tab. č. 6.34 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn872	101
Tab. č. 6.35 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn873	101
Tab. č. 6.36 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn882	102
Tab. č. 6.37 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn883	102
Tab. č. 6.38 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn1874	102
Tab. č. 6.39 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn1903	102
Tab. č. 6.40 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn1904	102
Tab. č. 6.41 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn2071	103
Tab. č. 6.42 - Výsledné hodnoty zkratových poměrů na vedení vn2072	103
Tab. č. 7.1 - Hodnoty pro nastavení nadproudových ochran	105
Tab. č. 7.2 - Tabulka výsledných hodnot pro nastavení nesměrových nadproudových ochran	113

Seznam příloh

Příloha I - Jednopolové schéma rozvodny 110 kV Fifejdy

Příloha II - Jednopolové schéma rozvodny 110 kV Fifejdy

Příloha III – Dispozice rozvodny 110/22 kV Fifejdy

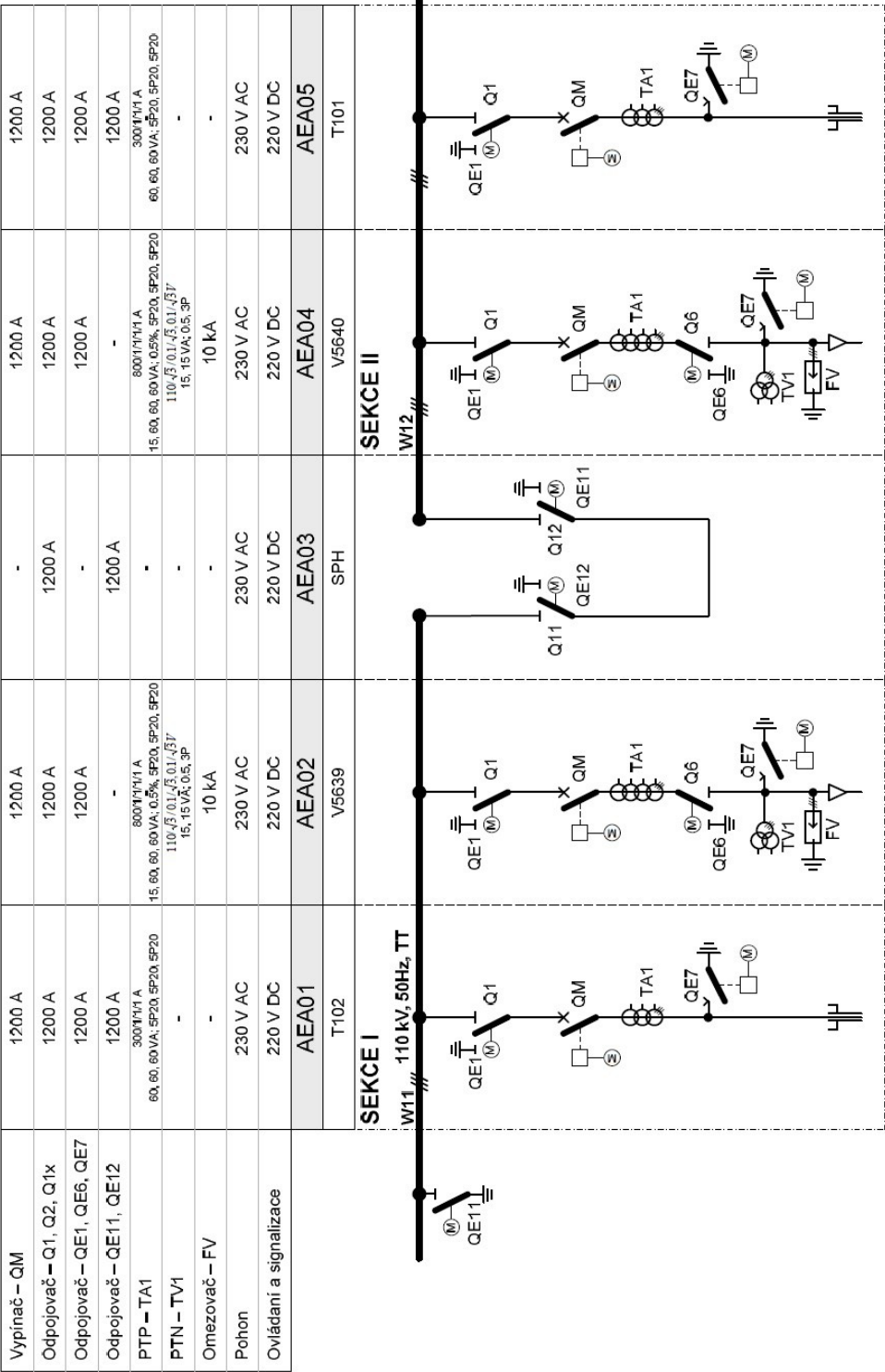
Příloha IV – Sít' 110 kV se zapojenou rozvodnou 110 kV Fifejdy

Umístěno na přiloženém CD

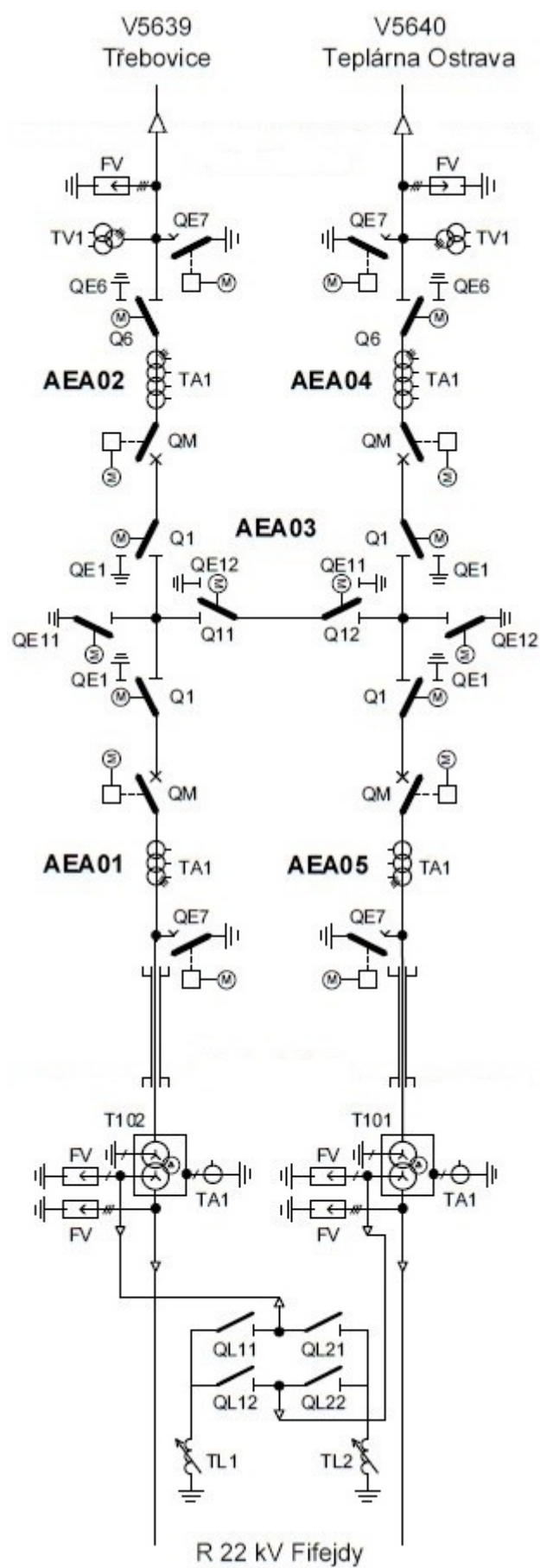
Příloha V – Jednopolové schéma rozvodny 22 kV Fifejdy

PŘÍLOHY

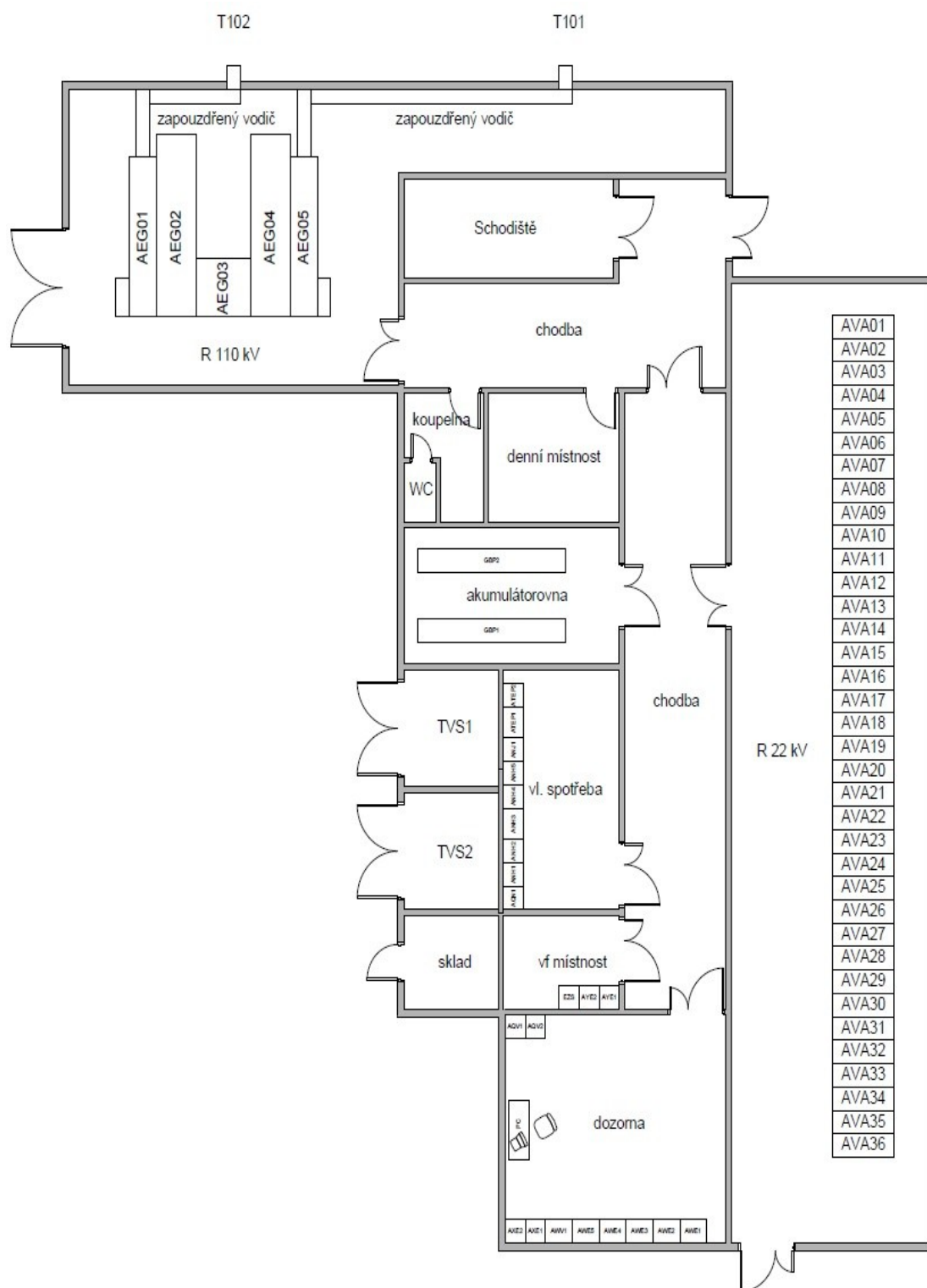
Příloha I - Jednopolové schéma rozvodny 110 kV Fifejdy



Příloha II - Jednopolové schéma rozvodny 110 kV Fifejdy



Příloha III – Dispozice rozvodny 110/22 kV Fifejdy



Příloha IV – Sít' 110 kV se zapojenou rozvodnou 110 kV Fifejdy

